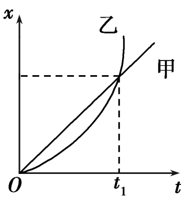
得 $v^2=2gH-2gx$，式中 v 的方向向上

因此上升和下降阶段速度大小随 x 的变化规律相同，速度方向相反，且 v 与 x 的关系不是线性关系，故 A 项正确。

审题指导　解答本题首先根据题给条件分析出小球运动时速度的对称性，从而知道小球在运动过程中只受重力作用；其次根据物理规律找到 v 与 x 的关系，进而分析 $v-x$ 图像。

评析　本题考查了机械能守恒、运动学公式等知识点，意在借助 $v-x$ 图像考查考生的理解能力和知识的迁移能力。

3.（2019 浙江 4 月选考，9，3 分）甲、乙两物体零时刻开始从同一地点向同一方向做直线运动，位移-时间图像如图所示，则在 $0\sim t_1$ 时间内　（　　）



A.甲的速度总比乙大

B.甲、乙位移相同

C.甲经过的路程比乙小

D.甲、乙均做加速运动

答案　B　因 $x-t$ 图线的斜率表示速度，可知在 $0\sim t_1$ 时间内开始时甲的速度大于乙的速度，后来乙的速度大于甲的速度，选项 A 错误；由图像可知在 $0\sim t_1$ 时间内甲、乙位移相同，选项 B 正确；甲、乙向同方向做直线运动，则甲、乙的路程相同，选项 C 错误；由图线斜率表示速度可知，甲做匀速直线运动，乙做加速直线运动，选项 D 错误。

4.（2019 浙江 4 月选考，19，9 分）小明以初速度 $v_0=10$ m/s 竖直向上抛出一个质量 $m=0.1$ kg 的小皮球，最后在抛出点接住。假设小皮球在空气中所受阻力大小为重力的 0.1。($g=10$ m/s^2) 求小皮球：

(1) 上升的最大高度；

(2) 从抛出到接住的过程中重力和空气阻力所做的功；

(3) 上升和下降的时间。

答案　(1) $\frac{50}{11}$ m　(2) 0　$-\frac{10}{11}$ J　(3) $\frac{10}{11}$ s　$\frac{10\sqrt{11}}{33}$ s

解析　(1) 设小皮球在运动过程中所受空气阻力大小为 f，

上升过程：$mg+f=ma_1$

解得 $a_1=11$ m/s^2

上升的高度：$h=\frac{v_0^2}{2a_1}=\frac{50}{11}$ m

(2) 重力做功：$W_G=0$

空气阻力做功：$W_f=-f\cdot 2h=-\frac{10}{11}$ J

(3) 上升的时间：$t_1=\frac{v_0}{a_1}=\frac{10}{11}$ s

下降过程：$mg-f=ma_2$

解得 $a_2=9$ m/s^2

$h=\frac{1}{2}a_2t_2^2$

解得 $t_2=\frac{10\sqrt{11}}{33}$ s

B 组　提升题组

1.（2016 课标Ⅲ，16，6 分）一质点做速度逐渐增大的匀加速直线运动，在时间间隔 t 内位移为 s，动能变为原来的 9 倍。该质点的加速度为　（　　）

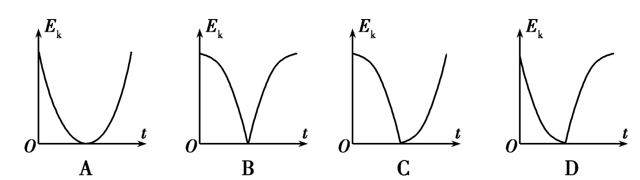
A. $\frac{s}{t^2}$　　B. $\frac{3s}{2t^2}$　　C. $\frac{4s}{t^2}$　　D. $\frac{8s}{t^2}$

答案　A　动能变为原来的 9 倍，速度变为原来的 3 倍，$a=\frac{3v_0-v_0}{t}$，$s=\frac{3v_0+v_0}{2}\cdot t$，解得 $a=\frac{s}{t^2}$，A 正确。

解题方法　本题还可以这样解：动能变为原来的 9 倍，速度变为原来的 3 倍，则有 $3v_0=v_0+at$，$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，消去 v_0 即可解得 $s=at^2$，即 $a=\frac{s}{t^2}$。

解题关键　动能变为原来的 9 倍，说明初速度不能为零。

2.（2018 江苏单科，4，3 分）从地面竖直向上抛出一只小球，小球运动一段时间后落回地面。忽略空气阻力，该过程中小球的动能 E_k 与时间 t 的关系图像是　（　　）



答案　A　设小球初动能为 E_{k0}，初速度为 v_0，重力加速度为 g。瞬时动能 $E_k=E_{k0}-mgh$，$h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$，联立得 $E_k=\frac{1}{2}mg^2t^2-mgv_0t+E_{k0}$，故 A 正确。

方法技巧　函数法解题

应用小球抛出后，在运动过程中所满足的物理关系和规律，推导出相应的数学函数关系式，应用数学工具解决物理问题。

3.（2016 浙江理综，17，6 分）如图所示为一种常见的身高体重测量仪。测量仪顶部向下发射波速为 v 的超声波，超声波经反射后返回，被测量仪接收，测量仪记录发射和接收的时间间隔。质量为 M_0 的测重台置于压力传感器上，传感器输出电压与作用在其上的压力成正比。当测重台没有站人时，测量仪记录的时间间隔为 t_0，输出电压为 U_0，某同学站上测重台，测量仪记录的时间间隔为 t，输出电压为 U，则该同学身高和质量分别为　（　　）



A. $v(t_0-t)$，$\frac{M_0}{U_0}U$

B. $\frac{1}{2}v(t_0-t)$，$\frac{M_0}{U_0}U$

C. $v(t_0-t)$，$\frac{M_0}{U_0}(U-U_0)$

D. $\frac{1}{2}v(t_0-t)$，$\frac{M_0}{U_0}(U-U_0)$

答案　D　由于传感器输出电压与作用在其上的压力成正比，则测重台上没有人站立时，$U_0=kM_0g$，该同学站立在测重台上时，$U=k(M_0+M)g$，两方程相比可得：

该同学的质量 $M=\frac{M_0}{U_0}(U-U_0)$;

设测量仪顶部距测重台的高度为 L,该同学的身高为 h,则

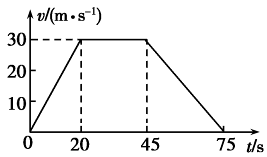
$L=\frac{1}{2}vt_0$

$L-h=\frac{1}{2}vt$

联立可得 $h=\frac{1}{2}v(t_0-t)$,选项 D 正确,选项 A、B、C 错误。

易错点拨 本题的易错点:在计算该同学质量时,只考虑该同学的质量而忽略了测重台的质量 M_0,从而导致错误;在计算该同学身高时,由于测定的时间是超声波发射和反射回来的时间和,根据对称性,单程用时为测量时间的一半,若理解不到位,会导致错误。

4.(2015 福建理综,20,15 分)一摩托车由静止开始在平直的公路上行驶,其运动过程的 $v-t$ 图像如图所示。求:



(1)摩托车在 0~20 s 这段时间的加速度大小 a;

(2)摩托车在 0~75 s 这段时间的平均速度大小 $\bar{v}$。

答案 (1)1.5 m/s² (2)20 m/s

解析 (1)加速度 $a=\frac{v_t-v_0}{t}$ ①

由 $v-t$ 图像并代入数据得 $a=1.5\ \text{m/s}^2$ ②

(2)设 20 s 时速度为 v_m,0~20 s 的位移 $s_1=\frac{0+v_m}{2}t_1$ ③

20~45 s 的位移 $s_2=v_mt_2$ ④

45~75 s 的位移 $s_3=\frac{v_m+0}{2}t_3$ ⑤

0~75 s 这段时间的总位移 $s=s_1+s_2+s_3$ ⑥

0~75 s 这段时间的平均速度 $\bar{v}=\frac{s}{t_1+t_2+t_3}$ ⑦

代入数据得 $\bar{v}=20\ \text{m/s}$ ⑧

C 组 教师专用题组

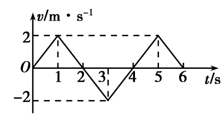
1.(2014 天津理综,1,6 分)质点做直线运动的速度-时间图像如图所示,该质点 ( )

A.在第 1 秒末速度方向发生了改变

B.在第 2 秒末加速度方向发生了改变

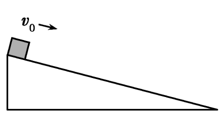
C.在前 2 秒内发生的位移为零

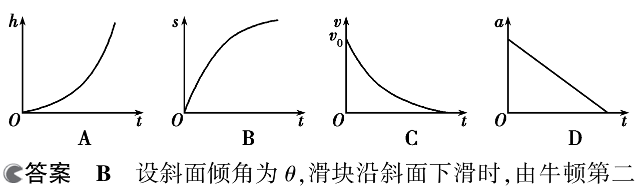
D.第 3 秒末和第 5 秒末的位置相同



答案 D 由题图可知 0~2 s 内,速度为正,运动方向未改变,2 s 末时,位移最大,$v-t$ 图线斜率表示加速度,1~3 s 图线斜率未改变,故第 2 s 末加速度方向没有变化,A、B、C 错误;由 $v-t$ 图线与时间轴所围面积表示位移知,第 3 s 末和第 5 s 末质点位置相同,D 正确。

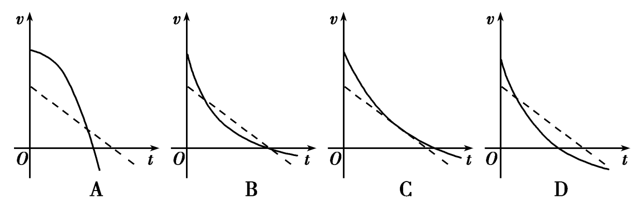
2.(2014 福建理综,15,6 分)如图,滑块以初速度 v_0 沿表面粗糙且足够长的固定斜面,从顶端下滑,直至速度为零。对于该运动过程,若用 h、s、v、a 分别表示滑块的下降高度、位移、速度和加速度的大小,t 表示时间,则下列图像最能正确描述这一运动规律的是 ( )





答案 B 设斜面倾角为 θ,滑块沿斜面下滑时,由牛顿第二定律有 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$,$a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$,因此滑块下滑时加速度不变,选项 D 错误;滑块加速下滑时的位移 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$,选项 B 正确;滑块下降高度 $h=s\cdot\sin\theta=v_0\sin\theta\cdot t+\frac{1}{2}a\sin\theta\cdot t^2$,选项 A 错误;滑块下滑时的速度 $v=v_0+at$,选项 C 错误

3.(2014 重庆理综,5,6 分)以不同初速度将两个物体同时竖直向上抛出并开始计时,一个物体所受空气阻力可忽略,另一物体所受空气阻力大小与物体速率成正比,下列用虚线和实线描述两物体运动的 $v-t$ 图像可能正确的是 ( )



答案 D 受空气阻力作用的物体,上升过程:$mg+kv=ma$,得 $a=g+\frac{k}{m}v$,v 减小,a 减小,A 错误。到达最高点时两物体均满足 $v=0$,$a=g$,即两图线与 t 轴相交时斜率相等,故 B、C 错误,D 正确。

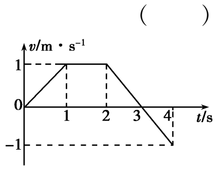
4.(2014 广东理综,13,4 分)图是物体做直线运动的 $v-t$ 图像,由图可知,该物体 ( )

A.第 1 s 内和第 3 s 内的运动方向相反

B.第 3 s 内和第 4 s 内的加速度相同

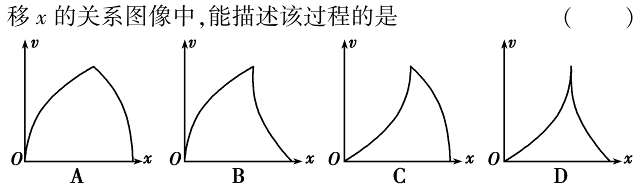
C.第 1 s 内和第 4 s 内的位移大小不相等

D.0~2 s 和 0~4 s 内的平均速度大小相等



答案 B 由图可知第 1 s 内和第 3 s 内速度都为正值,运动方向相同,A 项错;2~4 s 图线斜率不变,加速度不变,B 项正确;$v-t$图线与时间轴所围的面积表示位移,故第 1 s 内和第4 s 内的位移大小相等,选项 C 错;0~2 s 和 0~4 s 内位移相等,但时间不等,由$\bar{v}=\frac{s}{t}$可知 D 项错。

5.(2014 江苏单科,5,3 分)一汽车从静止开始做匀加速直线运动,然后刹车做匀减速直线运动,直到停止。下列速度 v 和位移 x 的关系图像中,能描述该过程的是 ( )



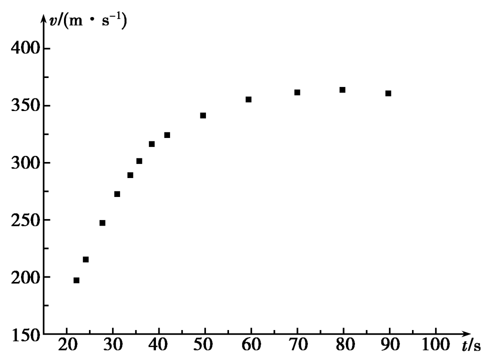
答案　A　汽车从静止开始做匀加速直线运动，由 $v^2=2ax$ 知当速度达到最大值 v_m 时做匀减速直线运动直到速度为 0，由运动的可逆性得 $v^2=2a'x$，将图像旋转 90°，则变为 $x=\frac{1}{2a'}v^2$，为标准的二次函数，故选项 A 正确。

评析　此题以汽车加速、刹车的生活现象为背景，考查匀变速运动的规律及其图像的判断。解答此题的关键是找出图像和函数表达式的对应关系。

6.（2014 课标Ⅱ，24，13 分）2012 年 10 月，奥地利极限运动员菲利克斯·鲍姆加特纳乘气球升至约 39 km 的高空后跳下，经过 4 分 20 秒到达距地面约 1.5 km 高度处，打开降落伞并成功落地，打破了跳伞运动的多项世界纪录。取重力加速度的大小 $g=10\ m/s^2$。

（1）若忽略空气阻力，求该运动员从静止开始下落至 1.5 km 高度处所需的时间及其在此处速度的大小；

（2）实际上，物体在空气中运动时会受到空气的阻力，高速运动时所受阻力的大小可近似表示为 $f=kv^2$，其中 v 为速率，k 为阻力系数，其数值与物体的形状、横截面积及空气密度有关。已知该运动员在某段时间内高速下落的 $v-t$ 图像如图所示。若该运动员和所带装备的总质量 $m=100$ kg，试估算该运动员在达到最大速度时所受阻力的阻力系数。（结果保留 1 位有效数字）



答案　（1）87 s　8.7×10^2 m/s　（2）0.008 kg/m

解析　（1）设该运动员从开始自由下落至 1.5 km 高度处的时间为 t，下落距离为 s，在 1.5 km 高度处的速度大小为 v。根据运动学公式有

$v=gt$　①

$s=\frac{1}{2}gt^2$　②

根据题意有

$s=3.9\times10^4\ m-1.5\times10^3\ m=3.75\times10^4\ m$　③

联立①②③式得

$t=87$ s　④

$v=8.7\times10^2$ m/s　⑤

（2）该运动员达到最大速度 v_{max} 时，加速度为零，根据平衡条件有

$mg=kv_{max}^2$　⑥

由所给的 $v-t$ 图像可读出

$v_{max}\approx360$ m/s　⑦

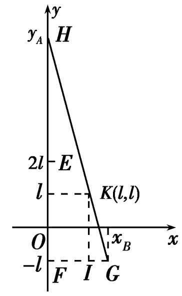
由⑥⑦式得

$k=0.008$ kg/m　⑧

7.（2013 课标Ⅰ，24，13 分）水平桌面上有两个玩具车 A 和 B，两者用一轻质细橡皮筋相连，在橡皮筋上有一红色标记 R。在初始时橡皮筋处于拉直状态，A、B 和 R 分别位于直角坐标系中的 $(0,2l)$、$(0,-l)$ 和 $(0,0)$ 点。已知 A 从静止开始沿 y 轴正向做加速度大小为 a 的匀加速运动；B 平行于 x 轴朝 x 轴正向匀速运动。在两车此后运动的过程中，标记 R 在某时刻通过点 (l,l)。假定橡皮筋的伸长是均匀的，求 B 运动速度的大小。

答案　$\frac{1}{4}\sqrt{6al}$

解析　设 B 车的速度大小为 v。如图，标记 R 在时刻 t 通过点 $K(l,l)$，此时 A、B 的位置分别为 H、G。由运动学公式，H 的纵坐标 y_A、G 的横坐标 x_B 分别为



$y_A=2l+\frac{1}{2}at^2$　①

$x_B=vt$　②

在开始运动时，R 到 A 和 B 的距离之比为 2∶1，即

$OE:OF=2:1$

由于橡皮筋的伸长是均匀的，在以后任一时刻 R 到 A 和 B 的距离之比都为 2∶1。因此，在时刻 t 有

$HK:KG=2:1$　③

由于 $\triangle FGH\backsim\triangle IGK$，有

$HG:KG=x_B:(x_B-l)$　④

$HG:KG=(y_A+l):(2l)$　⑤

由③④⑤式得

$x_B=\frac{3}{2}l$　⑥

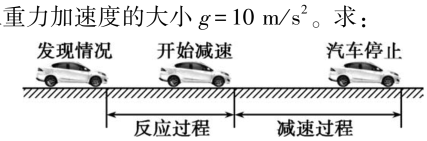
$y_A=5l$　⑦

联立①②⑥⑦式得

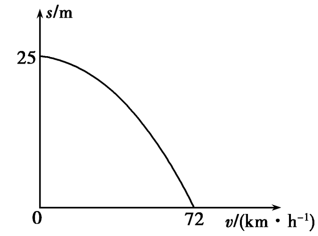
$v=\frac{1}{4}\sqrt{6al}$　⑧

解题关键　①画出直角坐标系，将各点标记准确；②A 沿 y 轴匀加速运动，则满足 $y_A=2l+\frac{1}{2}at^2$，B 平行于 x 轴匀速运动，则满足 $x_B=vt$；③橡皮筋的伸长是均匀的，则任一时刻 R 到 A 和 B 的距离之比都为 2∶1；④应用相似三角形知识解得 y_A 和 x_B 是关键步骤。

8.（2014 山东理综，23，18 分）研究表明，一般人的刹车反应时间（即图甲中“反应过程”所用时间）$t_0=0.4$ s，但饮酒会导致反应时间延长。在某次试验中，志愿者少量饮酒后驾车以 $v_0=72$ km/h 的速度在试验场的水平路面上匀速行驶，从发现情况到汽车停止，行驶距离 $L=39$ m。减速过程中汽车位移 s 与速度 v 的关系曲线如图乙所示。此过程可视为匀变速直线运动。取重力加速度的大小 $g=10\ m/s^2$。求：



图甲



图乙

（1）减速过程汽车加速度的大小及所用时间；

（2）饮酒使志愿者的反应时间比一般人增加了多少；

(3)减速过程汽车对志愿者作用力的大小与志愿者重力大小的比值。

答案 (1)$8\ m/s^2$ 2.5 s (2)0.3 s (3)$\frac{\sqrt{41}}{5}$

解析 (1)设减速过程中汽车加速度的大小为 a,所用时间为 t,由题可得初速度 $v_0=20\ m/s$,末速度 $v_t=0$,位移 $s=25\ m$,由运动学公式得

$v_0^2=2as$ ①

$t=\frac{v_0}{a}$ ②

联立①②式,代入数据得

$a=8\ m/s^2$ ③

$t=2.5\ s$ ④

(2)设志愿者反应时间为 t',反应时间的增加量为 Δt,由运动学公式得

$L=v_0t'+s$ ⑤

$\Delta t=t'-t_0$ ⑥

联立⑤⑥式,代入数据得

$\Delta t=0.3\ s$ ⑦

(3)设志愿者所受合外力的大小为 F,汽车对志愿者作用力的大小为 F_0,志愿者质量为 m,由牛顿第二定律得

$F=ma$ ⑧

由平行四边形定则得

$F_0^2=F^2+(mg)^2$ ⑨

联立③⑧⑨式,代入数据得

$\frac{F_0}{mg}=\frac{\sqrt{41}}{5}$ ⑩

3年模拟 2018-2020

对应学生用书 起始页码 213

时间:60分钟 分值:90分

一、选择题(每小题6分,共48分)

1.(2018河北五校联考摸底,1) 汽车在平直的公路上运动,原来的速度是 v_1,经过时间 t 以后,速度变为 v_2,则以下说法正确的是 ( )

A.时间 t 是矢量,速度 v_1、v_2 是标量

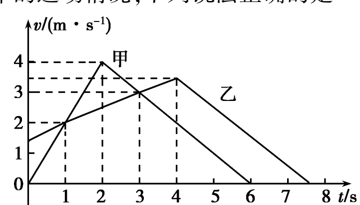
B.速度的变化量 $\Delta v=v_2-v_1$ 是标量

C.若汽车做匀加速运动,则时间越长 Δv 越大

D.若汽车做匀加速运动,则时间 t 内汽车的位移为$(v_1+v_2)t$

答案 C 速度 v 及速度的变化量 Δv 都是矢量,时间 t 是标量,选项A、B错误;由 $\Delta v=a\Delta t$ 可知,选项C正确;汽车在匀加速直线运动中时间 t 内的位移等于$\frac{v_1+v_2}{2}t$,选项D错误。

2.(2018全国100所名校联考,5) 甲、乙两车从同一地点沿同一方向做直线运动,其中甲车初速度为零,最大速度为 4 m/s,乙车初速度为 1.5 m/s,最大速度为 3.5 m/s,其 $v-t$ 图像如图所示。关于两车的运动情况,下列说法正确的是 ( )



A.在 $t=1$ s 时,两车速度相等,加速度相等

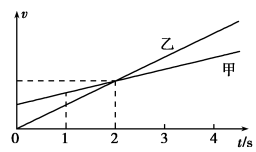
B.甲的加速度一直大于乙的加速度

C.在 $t=4$ s 时,甲、乙相遇

D.甲车运动的总位移大于乙车运动的总位移

答案 C $v-t$ 图像中图线的斜率表示加速度,在 $t=1$ s 时,甲、乙速度相等,但是甲车的加速度大于乙车的加速度,选项A错误;在加速运动阶段,甲车的加速度大于乙车的加速度,而减速运动阶段,两车加速度相等,选项B错误;根据 $v-t$ 图线与横轴所围面积表示位移,可知在 $t=4$ s 时,甲、乙位移相等,甲、乙相遇,选项C正确;由图可知甲车运动的总位移小于乙车运动的总位移,选项D错误。

3.(2018辽宁大连期中,3) 如图所示为甲、乙两个物体在同一条直线上运动的 $v-t$ 图像,$t=0$ 时两物体相距 $3s_0$,在 $t=1$ s 时两物体相遇,则下列说法正确的是 ( )



A.$t=0$ 时,甲物体在前,乙物体在后

B.$t=2$ s 时,两物体相距最远

C.$t=3$ s 时,两物体再次相遇

D.$t=4$ s 时,甲物体在乙物体后 $2s_0$ 处

答案 C $t=1$ s 时两物体相遇,且 0~1 s 内甲的速度始终比乙的大,可知 $t=0$ 时,甲物体在后,乙物体在前,A项错误;1 s末两物体相遇,由对称性可知 3 s 末两物体再次相遇,C项正确;$t=0$ 时甲、乙间距为 $3s_0$,此后一段时间内甲、乙间距离先减小后增大,速度相等时是第一次相遇后、第二次相遇前,二者相距最远时,但不一定是全过程中二者相距最远时,因 $t=2$ s 后乙的速度一直大于甲的速度,则二者间距最大值无法获得,B项错误;由图可知 $t=4$ s 时,甲物体在乙物体后 $3s_0$ 处,D项错误。

4.(2019河北百校联盟二联,2) 一辆汽车沿平直的公路行驶,已知汽车的位移随时间变化的规律为 $x=4+t^n$(m)。则下列说法正确的是 ( )

A.如果 n 取1,汽车做速度大小为 4 m/s 的匀速直线运动

B.如果 n 取1,汽车做速度大小为 2 m/s 的匀速直线运动

C.如果 n 取2,汽车做初速度为零、加速度大小为 $2\ m/s^2$ 的匀加速直线运动

D.如果 n 取2,汽车做初速度为 4 m/s、加速度大小为 $2\ m/s^2$ 的匀加速直线运动

答案 C 若 $n=1$,则 $x=4+t$ (m),可知速度为 $v=1$ m/s,所以汽车以 1 m/s 的速度做匀速直线运动,选项A、B错误;若$n=2$,则 $x=4+t^2$(m),可知初速度为 $v_0=0$,加速度大小为$a=2\ m/s^2$,所以汽车做初速度为0、加速度大小为 $2\ m/s^2$ 的匀加速直线运动,选项C正确,D错误。

5.(2020届广西钦州阶段检测,4) "道路千万条,安全第一条",《道路交通安全法》第四十七条规定:"机动车行经人行横道,应减速行驶;遇行人正在通过人行横道时,应停车让行。"一辆汽车以 10 m/s 的速度匀速行驶,驾驶员发现前方 50 m 处的斑马线上有行人,驾驶员立即刹车使车做匀减速直线运动,若已知行人还需 12 s 才能通过斑马线,则刹车后汽车的加速度大小至少为 ( )

A.$1\ m/s^2$ B.$0.97\ m/s^2$ C.$0.83\ m/s^2$ D.$0.69\ m/s^2$

答案　**A**　本题考查了匀变速直线运动的刹车类模型，体现了科学思维中的科学论证要素。车到斑马线时速度须减到 0，由 $v_0^2=2as$ 得加速度 $a=\frac{v_0^2}{2s}=\frac{10^2}{2\times50}$ m/s^2 = 1 m/s^2，选项 A 正确。

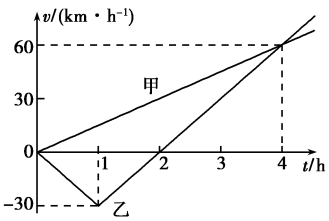
易错点评　本题已知汽车的初速度和到斑马线的距离，以及人通过斑马线的时间。这样由 $s=v_0t-\frac{1}{2}at^2$，代入数据得 $a=0.97$ m/s^2，错选 B 选项，可以将计算结果代入进行检验，由 $v^2-v_0^2=2as$ 得 $v\neq0$，这样是有危险的。

6.（**2018 安徽六校二联**）从地面以大小为 v_1 的初速度竖直向上抛出一个小球，经过时间 t 小球落回地面，落地时小球的速度的大小为 v_2。已知小球在运动过程中受到空气阻力的大小与速度的大小成正比，重力加速度大小为 g。下面给出时间 t 的四个表达式中只有一个是合理的。你可能不会求解 t，但是你可以通过一定的物理分析，对下列表达式的合理性做出判断。根据你的判断，你认为 t 的合理表达式应为　(　　)

A.$t=\sqrt{\frac{v_1v_2}{g}}$　B.$t=\frac{v_1-v_2}{g}$　C.$t=\frac{v_1v_2}{g}$　D.$t=\frac{v_1+v_2}{g}$

答案　**D**　因为时间的单位是 s，而$\frac{v_1v_2}{g}$的单位为 m，故 C 项错误；$\sqrt{\frac{v_1v_2}{g}}$的单位为$\sqrt{\text{m}}$，则 A 项错误。假如没有空气阻力，则有 $v_1=v_2$，$t_上=t_下=\frac{v_1}{g}=\frac{v_2}{g}$，应有 $t=\frac{v_1+v_2}{g}=\frac{2v_1}{g}$，而$\frac{v_1-v_2}{g}=0$，显然不符合事实；而有空气阻力时 $v_2<v_1$，则$\frac{v_1+v_2}{g}<\frac{2v_1}{g}$是符合要求的，故 D 项正确，B 项错误。

7.（**2018 湖南郴州质检**）（多选）如图所示，是甲、乙两汽车从相距 70 km 的两地开始相向行驶的 $v-t$ 图像。忽略汽车掉头所需时间。下列对汽车运动状况的描述正确的是　(　　)



A.在第 1 小时末，乙车改变运动方向

B.在第 2 小时末，甲、乙两车相距 10 km

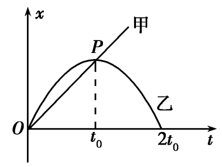
C.在前 4 小时内，乙车运动加速度的大小总比甲车的大

D.在第 4 小时末，甲、乙两车相遇

答案　**BC**　由图可知，乙车在第 2 小时末速度由负变为正，运动方向发生改变，而其在第 1 小时末没有改变运动方向，故 A 项错误；在 $v-t$ 图像中图线与 t 轴所围面积代表位移，在前 2 小时内甲、乙位移大小分别为 $x_甲=30$ km，$x_乙=30$ km，又甲、乙相向行驶，故在第 2 小时末两车相距 10 km，故 B 项正确；$v-t$ 图像中图线斜率表示加速度，在 1～4 小时内，甲车图线斜率小于乙车图线斜率，则 $a_甲<a_乙$，则 C 项正确；第 2 小时末两车相距10 km，第 2 小时末乙车调头，两车同向运动，从第 2 小时末到第 4 小时末，甲车比乙车位移大 30 km，甲车已经超前乙车 20 km，故 D 项错误。

关键点拨　$v-t$ 图像中图线与 t 轴所围面积代表位移；图线斜率代表加速度，速度的正负表示运动方向。

8.（**2019 江西红色七校二模，15**）甲、乙两车同时由同一地点沿同一方向做直线运动，它们的位移-时间图像如图所示，甲车对应的图线为过坐标原点的倾斜直线，乙车对应的图线是顶点为 P 的抛物线，两图线相交于 P 点，则下列说法不正确的是　(　　)



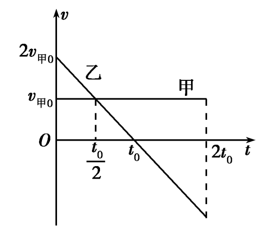
A.乙的初速度是甲的两倍

B.0～t_0 时间内，甲、乙的间距先增大后减小

C.0～t_0 时间内，甲的平均速率大于乙的平均速率

D.0～$2t_0$ 时间内，甲的路程等于乙的路程

答案　**C**　本题考查了运动学中的 $x-t$ 图像的应用，体现了科学思维中科学推理要素。由于乙、甲的 $x-t$ 图像分别是抛物线和直线，即乙、甲分别做匀变速直线运动和匀速直线运动，由题图可知 t_0 时刻乙的速度为 0，甲、乙的位移相同，则有 $\frac{v_{乙0}+0}{2}t_0=v_{甲0}t_0$，则 $v_{乙0}=2v_{甲0}$，A 正确；由 $v_{甲0}=\frac{v_{乙0}}{t_0}\times t$，得 $t=\frac{t_0}{2}$，即两车在$\frac{t_0}{2}$时刻速度相等，即在 0～$\frac{t_0}{2}$时间内，甲、乙的间距一直增大，$\frac{t_0}{2}$～t_0 时间内，甲、乙的间距一直减小，B 正确；0～t_0 时间内，甲、乙的路程相等，故平均速率相等，C 错误；经分析可得出甲、乙的 $v-t$ 图像，如图所示，由图像易得在 0～$2t_0$ 时间内，甲的路程等于乙的路程，D 正确。



解题关键　正确理解 $x-t$ 图像的物理意义，特别是乙车对应的图线是顶点为 P 的抛物线，意味着乙车先做匀减速直线运动，后反向做匀加速直线运动，且加速度大小相同。两车在 P 点恰好相遇。

二、非选择题（共 42 分）

9.（12 分）（**2018 河北五校联考摸底，10**）据媒体报道，从某大厦 28 楼窗口落下的半块砖头，竟将停在楼下的一辆轿车车顶砸了个大洞，幸好车内无人，否则后果更加严重。假定此砖头可看做质点，它是从距车顶 80 m 高处由静止开始落下，且空气阻力忽略不计，g 取 10 m/s^2。

（1）求砖头在空中的运动时间和砸到车上时的速度大小。

（2）轿车附近有一监测探头能监测车顶上方 28.8 m 范围，则砖头在监测探头内留下的影像时间有多久？

答案　（1）4 s　40 m/s　（2）0.8 s

解析　（1）根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$

解得：$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times80}{10}}$ s = 4 s

砖头砸到车上时的速度大小 $v=gt=40$ m/s

（2）砖头下落到监控范围之前下落的高度为 $\Delta h=(80-28.8)$ m = 51.2 m

下落的时间 $t'=\sqrt{\frac{2\Delta h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times51.2}{10}}$ s = 3.2 s

监控中留下影像的时间 $\Delta t=t-t'=0.8$ s

10.(10分)(**2019山东东营期中,16**)在光滑水平面上有一静止的物体,现以水平恒力甲推这一物体,作用一段时间后,换成相反方向的水平恒力乙推这一物体,当恒力乙作用时间与恒力甲作用时间相同时,物体恰好回到原处。求:

(1)恒力甲作用过程中物体的加速度大小 a_1 与恒力乙作用过程中物体的加速度大小 a_2 之比;

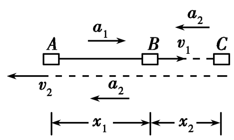
(2)恒力甲作用过程中物体的末速度大小 v_1 与恒力乙作用过程中物体的末速度大小 v_2 之比。

答案 (1)$\frac{1}{3}$ (2)$\frac{1}{2}$

解析 设$A\to B$过程物体做初速度为0的匀加速运动,位移为 x_1,由匀变速运动位移公式和速度公式可以建立起方程。$B\to C\to A$过程,物体先向右做匀减速运动,然后向左做匀加速运动。

下面从两个角度求解本题。

方法一:利用运动示意图求解



$A\to B$过程,$x_1=\frac{1}{2}a_1t^2$,$v_1=a_1t$

$B\to C$过程,$x_2=v_1t'-\frac{1}{2}a_2t'^2$,

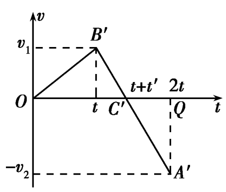
$0=v_1-a_2t'$

$C\to A$过程,$x_1+x_2=\frac{1}{2}a_2(t-t')^2$,$v_2=a_2(t-t')$

由以上方程联立可解得:

$\frac{a_1}{a_2}=\frac{1}{3}$,$\frac{v_1}{v_2}=\frac{1}{2}$。

方法二:利用 $v-t$ 图像求解



画出 $v-t$ 图像如图所示,由$A\to B\to C$过程的位移与$C\to B\to A$过程的位移大小相等。

即图中 $S_{\triangle OB'C'}=S_{\triangle A'QC'}$,得

$\frac{v_1}{2}(t+t')=\frac{v_2}{2}(t-t')$

$B\to C$与$C\to A$过程加速度相同,

即图线 $B'C'$ 与图线 $C'A'$ 斜率相同,

可得$\frac{v_1}{t'}=\frac{v_2}{t-t'}$

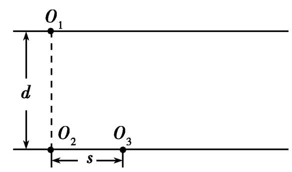
由以上两式可解得

$t'=\frac{1}{3}t$,$\frac{v_1}{v_2}=\frac{1}{2}$

a_1、a_2 的大小分别对应图线 OB' 与图线 $B'C'$ 的斜率大小,易得:

$\frac{a_1}{a_2}=\frac{t'}{t}=\frac{1}{3}$。

11.(10分)(**2018全国100所名校测试,11**)蓝牙是一种无线技术标准,可实现固定设备、移动设备等之间的短距离数据交换,某同学用安装有蓝牙设备的玩具车 A、B 进行实验:在距离 $d=6$ m的两条平直轨道上,A 车自 O_1 点从静止开始以加速度 $a=2$ m/s^{2}匀加速向右运动,B 车自 O_2 点前方 $s=3$ m处的 O_3 点以 $v_0=6$ m/s向右做匀速直线运动,O_1、O_2 连线与轨道垂直,则两车能通信多长时间?(已知两车间的距离超过 $s_1=10$ m时,两车无法实现通信,忽略信号传递的时间)



答案 $(2\sqrt{5}-1)$ s

解析 当两车间的距离为 $s_1=10$ m时,根据几何关系知,两车在轨道方向上的距离 $s_0=8$ m

根据两车在轨道方向的位移关系知,当 B 车在 A 车的前面时有:$v_0t+s-\frac{1}{2}at^2=s_0$

代入数据得:$t_1=1$ s,$t_2=5$ s

当 A 车在 B 车的前面时有:$\frac{1}{2}at'^2-(v_0t'+s)=s_0$

代入数据得:$t'=(2\sqrt{5}+3)$ s

因为两车之间的距离先增大再减小,然后再增大,可知 0~1 s内两车之间的距离小于10 m,5 s~$(2\sqrt{5}+3)$ s内两车间的距离小于10 m

则两车能通信的时间为:$t=(2\sqrt{5}+3-5+1)$ s$=(2\sqrt{5}-1)$ s。

12.(10分)(**2020届山西吕梁摸底,14**)一列火车由静止开始出发,沿直线轨道先以恒定加速度 a_1 做匀加速运动,至速度为 v 后,再匀速前进一段时间,最后以恒定加速度 a_2 匀减速前进,直到停止,全程长为 L。

(1)求全程所用时间;

(2)速度 v 为何值时,全程所用时间最短。

答案 (1)$\frac{L}{v}+\frac{v}{2a_1}+\frac{v}{2a_2}$ (2)$\sqrt{\frac{2a_1a_2}{a_1+a_2}L}$

解析 本题考查了物体做不同的匀变速直线运动规律,体现了科学思维中的科学推理要素。

(1)火车加速过程:$v=a_1t_1$

加速位移满足 $2a_1x_1=v^2$

减速过程:$v=a_2t_2$

减速位移满足 $2a_2x_2=v^2$

匀速过程:$L-x_1-x_2=vt_3$

全程所用时间 $t=t_1+t_2+t_3$

解得 $t=\frac{L}{v}+\frac{v}{2a_1}+\frac{v}{2a_2}$

(2)火车先加速到 v 再减速到零时正好跑完全程,所用时间最短

即 $L=x_1+x_2$

解得 $v=\sqrt{\frac{2a_1a_2}{a_1+a_2}L}$

解题方法 (1)火车先匀加速再匀速最后匀减速前进,由运动学公式求出各阶段所用时间;(2)火车先加速到 v 再减速到零时正好跑完全程,所用时间最短。

5年高考 3年模拟

专题二　相互作用

探考情 悟真题

5 年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 13

考点	考向	5 年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
常见的三种力、力的合成与分解	常见的三种力	2017 课标Ⅱ,16,6 分	2		运动与相互作用观念		★★☆
		2017 课标Ⅲ,17,6 分	3		运动与相互作用观念		
		2015 山东理综,16,6 分	4		运动与相互作用观念	整体隔离法	
	力的合成与分解	2018 天津理综,7,6 分	3		科学推理		
受力分析、共点力的平衡	受力分析、共点力的平衡	2019 课标Ⅱ,16,6 分	4	匀速直线运动	运动与相互作用观念	极值法	★★★
		2019 课标Ⅲ,16,6 分	4		运动与相互作用观念		
		2017 课标Ⅰ,21,6 分	4		科学推理	图解分析法	
		2016 课标Ⅰ,19,6 分	4		科学推理	整体隔离法	
		2016 课标Ⅲ,17,6 分	4		科学推理		
		2017 天津理综,8,6 分	4		模型建构		

分析解读

本专题是力学的基础,是贯穿整个物理学的核心。从力学的基本概念出发,通过研究重力、弹力、摩擦力,逐步认识力的矢量性、相互性,以及力在合成与分解时遵循的平行四边形定则。受力分析是解决力学问题的基础和关键,共点力作用下物体的平衡条件更是广泛应用于力、热、电等各部分内容的题目中,这就决定了本专题知识在高考中的重要位置。该专题知识若单独出题,主要是选择题,若与其他专题知识结合,则主要考查学生的综合能力,有选择题,也有大型的计算题。

真题探秘

对应学生用书起始页码 14

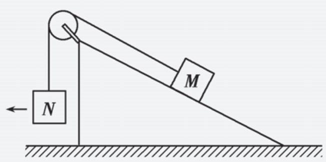
(2019课标Ⅰ，19，6分)(多选)如图，一粗糙斜面固定在地面上，斜面顶端装有一光滑定滑轮。一细绳跨过滑轮，其一端悬挂物块N，另一端与斜面上的物块M相连，系统处于静止状态。现用水平向左的拉力缓慢拉动N，直至悬挂N的细绳与竖直方向成45°。已知M始终保持静止，则在此过程中 ( )

A.水平拉力的大小可能保持不变

B.M所受细绳的拉力大小一定一直增加

C.M所受斜面的摩擦力大小一定一直增加

D.M所受斜面的摩擦力大小可能先减小后增加



创设情景：物体与斜面有摩擦力，斜面与地面无需考虑

给定第一个条件：滑轮两端绳子拉力相等，即为活结问题

给定第二个条件：初态受力平衡

给定第三个条件：1.拉力方向不变；2.动态平衡；3.移动的范围

选项的设置模棱两可，要求考生有扎实的基础和推理能力

❶ 核心要点

考查了物体的受力分析、共点力动态平衡中的图解法和定量计算分析法。

❷ 选项分析

A选项需要根据N物体受力特点，即三力平衡中重力大小方向不变、拉力的方向不变，确定拉力的大小和绳子的张力大小的变化；B、C、D选项通过对M物体的分析，结合绳子张力大小变化和二者重力的不确定性，确定摩擦力大小变化。

❸ 情景解读

初态两物体都静止，但由于二者的质量关系不确定，需要对初始态进行假设才能确定M物体所受摩擦力的情况。

❹ 思路分析

1.从题中提取信息：N物体受不变的重力和方向不变的拉力，用图解法确定拉力和绳子张力的大小变化。

2.M物体虽静止，但其质量与N物体质量关系不确定，导致摩擦力方向的不确定。因此通过假设两种情况来分析摩擦力。

❺ 素养目标

考查了运动与相互作用观念、模型建构的素养。

❻ 命题规律

考查了三力平衡和多力平衡。

❼ 能力要求

物体受力分析及三力动态平衡和多力平衡的处理能力；运用假设法及数学解决物理问题的能力。

❽ 答案

BD 详细解析见32页5年高考A组第1题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 14

考点一 常见的三种力、力的合成与分解

考向基础

一、力

1.力的概念

(1)力是物体间的相互作用,力总是成对出现的,这一对力的性质相同,不接触的物体间也可以有力的作用,如重力、电磁力等。

(2)力是矢量,其作用效果由大小、方向及作用点三个要素决定。力的作用效果是使物体产生形变或加速度。

2.力的分类:按力的性质可分为重力、弹力、摩擦力等。按力的效果可分为动力、阻力、向心力、回复力、浮力、压力、支持力等。即使力的作用效果相同,这些力产生的条件及性质也不一定相同。

二、常见的三种力

1.重力

(1)产生:由于地球对物体的吸引而使物体受到的力。

(2)大小:$G=mg$,大小与物体的运动状态无关,与物体所在的纬度、高度有关。

(3)方向:竖直向下。

2.弹力

(1)产生条件:物体直接接触;有弹性形变。

(2)常见弹力的方向

弹力	弹力的方向
轻绳的弹力	沿绳指向绳收缩的方向
弹簧两端的弹力	沿弹簧指向弹簧恢复原状的方向
面(或点)与面(或点)接触	垂直于接触面(或切面),指向受力物体
杆的弹力	可能沿杆,也可能不沿杆,应具体情况具体分析

注意 弹力的方向总是与作用在物体上使物体发生形变的外力方向相反。

(3)弹力的大小

Ⅰ.弹簧类——胡克定律

内容:实验表明,弹簧发生弹性形变时,弹力的大小跟弹簧伸长(或缩短)的长度 x 成正比,即 $F=kx$。

k 称为弹簧的劲度系数,单位是牛顿每米,符号用 N/m 表示。

Ⅱ.非弹簧类——依据物体所处的状态求解。

3.摩擦力

	静摩擦力	滑动摩擦力
定义	两个具有相对运动趋势的物体间在接触面上产生的阻碍相对运动趋势的力	两个具有相对运动的物体间在接触面上产生的阻碍相对运动的力
产生条件(必要条件)	(1)接触面粗糙 (2)接触处有弹力 (3)两物体间有相对运动趋势(仍保持相对静止)	(1)接触面粗糙 (2)接触处有弹力 (3)两物体间有相对运动
大小	(1)静摩擦力为被动力,满足 $0<F\leqslant F_{max}$ (2)最大静摩擦力 F_{max} 大小与正压力大小有关	滑动摩擦力:$F=\mu F_N$(μ 为动摩擦因数,取决于接触面材料及粗糙程度,F_N 为正压力)
方向	沿接触面与受力物体相对运动趋势的方向相反	沿接触面与受力物体相对运动的方向相反
作用点	实际上接触面上各点都是作用点,常把它们等效到一个点上,在作力的图示或示意图时,一般把力的作用点画到物体的重心上	

三、力的合成

1.遵循的规律:力的合成遵循矢量运算法则,即遵循平行四边形定则。

2.力的合成:两个共点力 F_1 和 F_2 的大小均不变,它们之间的夹角为 θ,其合力的大小为 $F_合$,当夹角 θ 变化时,合力的取值范围是 $|F_1-F_2|\leqslant F_合\leqslant F_1+F_2$。

当两个分力 F_1 和 F_2 大小相等,且它们之间的夹角 $\theta=120°$ 时,合力大小等于每个分力的大小,合力的方向沿两个分力夹角的角平分线。

四、力的分解

1.遵循的规律:力的分解是力的合成的逆运算,同样遵循矢量运算的规律,即遵循平行四边形定则。

2.分解原则:分解某个力时,一般要根据这个力产生的实际效果进行分解。

3.力的正交分解

将一个力分解为两个相互垂直的分力的方法称为力的正交分解法。力的正交分解法的优点是借助数学中的直角坐标系对力进行描述,其优点是几何图形关系简单,容易求解。

考向突破

考向一　常见的三种力

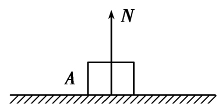
一、弹力方向的判定

总则:弹力的方向与接触面的切面垂直,与施力物体的形变方向相反。

具体可以分为以下几种情况:

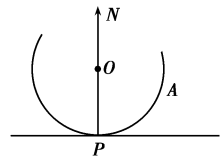
1.平面与平面之间的弹力方向,与平面垂直。

例如 A 受水平地面的弹力方向与地面垂直,如图所示。



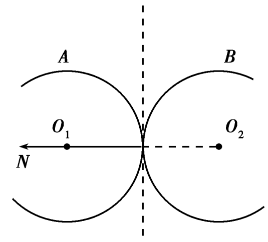
2.平面与曲面之间的弹力方向,过接触点与平面垂直。如果曲面为圆弧面,弹力的方向在接触点与圆心的连线上。

例如 A 所受弹力方向在 P、O 的连线上。(P 为接触点,O 为圆心)



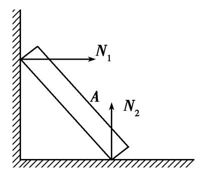
3.曲面与曲面之间的弹力方向,过接触点垂直于两曲面的公切面。如果两曲面为圆弧面,弹力的方向在两圆心的连线上。

例如 A 所受的弹力方向在两圆心 O_1、O_2 的连线上。



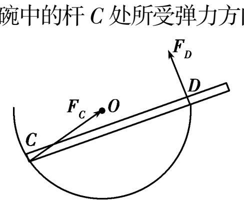
4.点与平面之间的弹力方向,过点与平面垂直。

例如 A 所受两墙面的弹力 N_1 和 N_2 的方向如图所示。



5.点与曲面之间的弹力方向,过点垂直于曲面的切面,如果曲面为圆弧面,弹力方向在接触点与圆心的连线上。

例如放在半球形碗中的杆 C 处所受弹力方向在 C、O 的连线上。

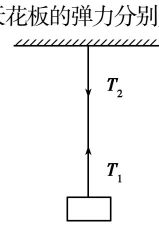


6.点与杆之间的弹力方向,过点垂直于杆。

如上图杆 D 处所受弹力方向过 D 点垂直于杆。

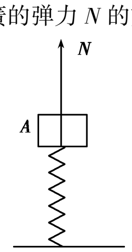
7.绳子的弹力方向沿绳并指向绳收缩的方向。

例如绳子对物块与天花板的弹力分别为 T_1、T_2,方向如图所示。

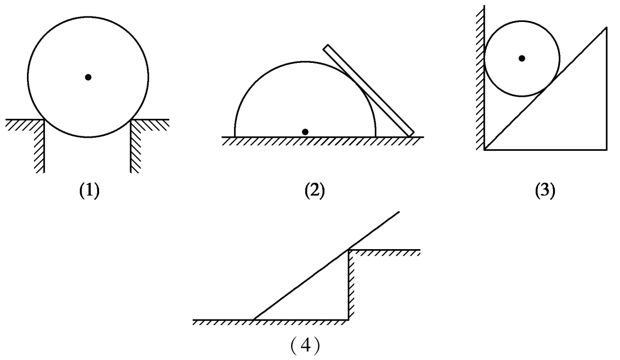


8.弹簧弹力的方向是沿弹簧并与弹簧的形变方向相反。

例如 A 物块所受弹簧的弹力 N 的方向如图所示。



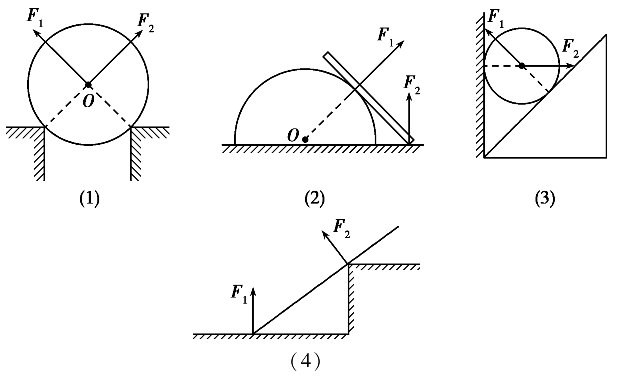
例 1　画出图中静止的各球或杆受到的弹力。



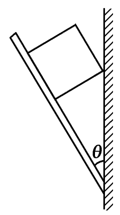
解题导引



答案　如图所示



例 2　如图所示,固定的木板与竖直墙面的夹角为 θ,重为 G 的物块静止在木板与墙面之间,不计一切摩擦,则　(　　)



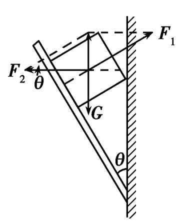
A.物块对木板的压力大小为$\frac{G}{\sin\theta}$

B.物块对木板的压力大小为 $G\cos\theta$

C.物块对墙面的压力大小为 $G\tan\theta$

D.物块对墙面的压力大小为 $G\sin\theta\cos\theta$

解析　本题考查受力分析,目的是考查学生的推理能力。物块受力如图所示,由共点力平衡条件可得物块所受木板和墙面的支持力大小分别为 $F_1=\frac{G}{\sin\theta}$、$F_2=\frac{G}{\tan\theta}$,根据牛顿第三定律可知物块对木板和墙面的压力大小分别为 $F_1'=\frac{G}{\sin\theta}$、$F_2'=\frac{G}{\tan\theta}$,选项 A 正确,B、C、D 均错误。



答案　A

二、对静摩擦力的判定

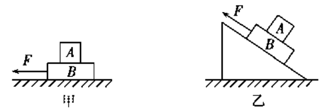
相对运动趋势不如相对运动直观,具有很强的隐蔽性,所以静摩擦力的判定较困难,为此总结了下面几种常用的判定方法。

1.“假设法”和“反推法”

假设法　即先假定没有静摩擦力,看相对静止的物体间能否发生相对运动。若能,则有静摩擦力,方向与相对运动方向相反;若不能,则没有静摩擦力。

反推法　从物体表现出的运动状态反推它必须具有的条件,分析组成条件的相关因素中摩擦力所起的作用,判断摩擦力的方向。

例 3　如图所示,物体 A、B 在力 F 作用下一起以相同速度沿 F 方向匀速运动,关于物体 A 所受的摩擦力,下列说法正确的是　(　　)



A.甲、乙两图中物体 A 均受摩擦力,且方向均与 F 相同

B.甲、乙两图中物体 A 均受摩擦力,且方向均与 F 相反

C.甲、乙两图中物体 A 均不受摩擦力

D.甲图中物体 A 不受摩擦力,乙图中物体 A 受摩擦力,方向和 F 相同

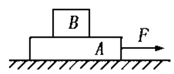
解析　用假设法分析:甲图中,假设 A 受摩擦力,与 A 做匀速运动在水平方向合力为零不符,所以 A 不受摩擦力;乙图中,假设 A 不受摩擦力,A 将相对 B 沿斜面向下运动,从而知 A 应受沿 F 方向的摩擦力。正确选项是 D。

答案　D

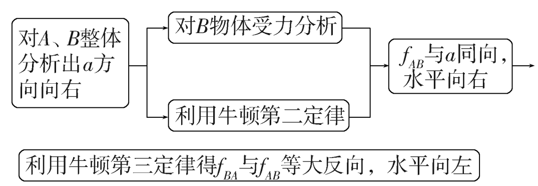
2.根据“物体的运动状态”来判定

此法关键是先明确物体的运动状态(即加速度的方向),再利用牛顿第二定律($F=ma$)确定合力,然后通过受力分析确定静摩擦力的大小及方向。

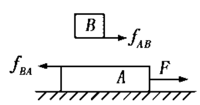
例 4　如图,物体 B 叠放在物体 A 上,水平地面光滑,外力 F 作用于物体 A 上,使它们一起运动,试分析两物体受到的静摩擦力的方向。



解题导引



解析　由于水平地面光滑,则物体 A 与 B 在外力 F 的作用下一起向右加速运动。因为物体 B 在水平方向有向右的加速度,故必受 A 对它的水平向右的静摩擦力,根据牛顿第三定律,物体 A 受到物体 B 对它的水平向左的静摩擦力,如图所示。



答案　见解析

3.利用牛顿第三定律(即作用力与反作用力的关系)来判定

此法关键是抓住“力是成对出现的”,先确定受力较少的物体受到的静摩擦力的方向,再确定另一物体受到的静摩擦力的方向。

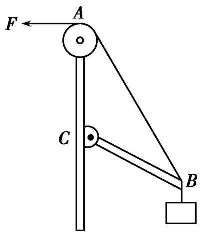
例 4 中,先分析出受力较少的 B 受到 A 水平向右的静摩擦力,再由牛顿第三定律确定 A 受到 B 水平向左的静摩擦力。

三、“形同质异”问题

1.动杆和定杆问题的思考方法

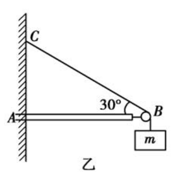
杆所受到的弹力方向可以沿着杆，也可以不沿杆，因此在分析问题时，要注意是动杆还是定杆。

若轻杆用转动轴或铰链连接，当处于平衡时杆所受到的弹力方向一定沿着杆，否则会引起杆的转动。如图甲所示，若 C 为转动轴，则轻杆在缓慢转动中，弹力方向始终沿杆的方向。

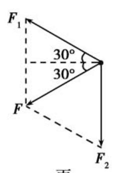


甲

若轻杆被固定不发生转动，则杆所受到的弹力方向不一定沿杆的方向。如图乙所示，水平横梁的一端 A 插在墙壁内，另一端装有一个小滑轮 B，一轻绳的一端 C 固定于墙壁上，另一端跨过滑轮后悬挂一质量 $m=10$ kg 的重物，$\angle CBA=30°$。



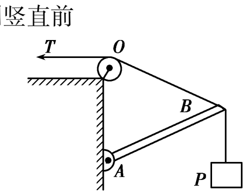
乙



丙

滑轮受到绳子的作用力应为图中两段绳中拉力 F_1 和 F_2 的合力 F，如图丙所示，因为同一根绳子张力处处相等，都等于重物的重力，即 $F_1=F_2=G=mg=100$ N。用平行四边形定则作图，可知合力 $F=100$ N，所以滑轮受绳的作用力为 100 N，方向与水平方向成 30°角斜向左下方，故可判断弹力的方向不沿杆。

例 5 如图所示，绳与杆均不计重力，承受力的最大值一定。杆的 A 端用铰链固定，滑轮 O 在 A 点正上方（滑轮大小及摩擦均可忽略），B 端挂一重物 P，现施加拉力 T 将 B 缓慢上拉（绳和杆均未断），在杆达到竖直前 （　　）



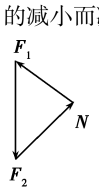
A.绳子越来越容易断

B.绳子越来越不容易断

C.杆越来越容易断

D.杆越来越不容易断

解析 以 B 点为研究对象，B 受三个力：绳沿 BO 方向的大小为 T 的拉力 F_1，绳沿竖直向下方向的大小为 G_P 的拉力 F_2，AB 杆沿 AB 方向的支持力 N，这三个力构成封闭的矢量三角形，如图所示，该三角形与几何三角形 OAB 相似，得到 $\frac{OB}{F_1}=\frac{OA}{F_2}=\frac{AB}{N}$，由此可知，$N$ 不变，F_1 随 OB 的减小而减小。



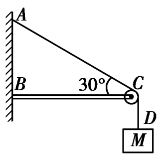
答案 B

2.“活结”和“死结”问题的思考方法

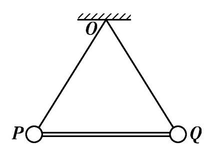
当绳绕过滑轮或挂钩时，由于滑轮或挂钩对绳无约束，因此绳上各处的力是相等的，即滑轮或挂钩只改变力的方向不改变力的大小。例如“动杆和定杆问题的思考方法”中图乙，两段绳中的拉力 $F_1=F_2=mg$。

对于称为“死结”的结点，两侧绳上的弹力不一定相等。例如“动杆和定杆问题的思考方法”中图甲，B 点下面绳中的拉力大小始终等于 mg，而 B 点上侧绳 AB 中的拉力随杆的转动而变化。

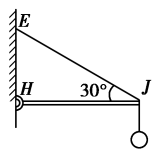
例 6 如图甲所示，水平轻杆 BC 左端固定，右端带有定滑轮，细绳 AD 跨过定滑轮挂住一个质量为 M 的物体，$\angle ACB=30°$。图乙装置中 OP、OQ 是两根轻绳，PQ 是轻杆，它们构成一个正三角形。在 P、Q 两处分别固定质量均为 m 的小球，乙图装置悬挂在 O 点自然下垂。图丙中轻杆 HJ 左端用铰链与竖直墙连接，右端 J 通过细绳 EJ 拉住，EJ 与水平方向也成 30°角，在轻杆的 J 点用细绳拉住一个质量也为 m 的小球。设图甲中细绳 AC 段的张力大小为 F，在图乙所示的状态下 OQ 对 Q 点小球的作用力大小为 T，轻杆对 Q 点小球的作用力大小为 F_N，图丙细绳 EJ 的张力大小为 F_1，轻杆 HJ 对 J 端的支持力大小为 F_2。下列关于各力大小关系判断正确的是 （　　）



甲



乙



丙

A.$F=Mg$　　B.$F_2=3F_N$

C.$F_1=T$　　D.$F_1=\sqrt{3}T$

解析 图甲中细绳 AD 跨过定滑轮拉住质量为 M 的物体，物体处于平衡状态，细绳 AC 段的拉力 $F=Mg$，A 项正确。对图乙中的 Q 点小球进行受力分析，如图 1 所示，绳的拉力 T 与轻杆的支持力 F_N 的合力与小球的重力大小相等，方向相反，由平行四边形定则有

$$T=\frac{mg}{\cos 30°}=\frac{2mg}{\sqrt{3}}$$

$$F_N=mg\tan 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$$

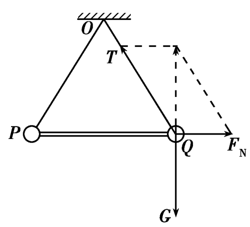


图 1

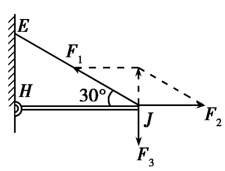


图 2

图丙中 J 端受力如图 2 所示，J 端受到竖直向下的拉力 $F_3=mg$，细绳 EJ 的拉力 F_1 和轻杆的支持力 F_2，由平衡条件得

$$F_2=\frac{F_3}{\tan 30°}=\frac{mg}{\tan 30°}=\sqrt{3}mg$$

$$F_1=\frac{F_3}{\sin 30°}=\frac{mg}{\sin 30°}=2mg$$

联立以上各式可得 $F_2=3F_N$，B 项正确。$F_1=\sqrt{3}T$，C 项错误，D 项正确。

答案 ABD

解题指导 求解这类问题的关键是抓住以下两点：

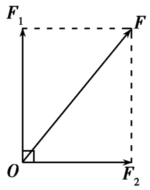
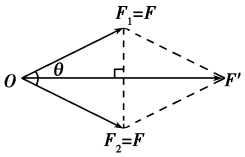
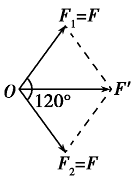
(1)“死结”可理解为把绳子分成两段，且不可以沿绳子移

动的结点。“死结”两侧的绳因结而变成了两根独立的绳,因此由“死结”分开的两段绳子上的弹力不一定相等。

(2)“活结”可理解为把绳子分成两段,且可以沿绳子移动的结点。“活结”一般是由绳跨过滑轮或者绳上挂一光滑挂钩而形成的。绳子虽然因“活结”而弯曲,但实际上是同一根绳,因此由“活结”分开的两段绳子上弹力的大小一定相等,两段绳子合力的方向一定沿这两段绳子夹角的角平分线。

考向二 力的合成与分解

一、三种特殊情况的共点力合成

类型	作图	合力的计算
互相垂直		$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}$
两力等大,夹角为 θ		$F'=2F\cos\dfrac{\theta}{2}$
两力等大且夹角为 120°		$F'=F$

二、合力范围的确定

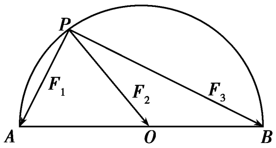
1.两个共点力的合力范围:两个力的大小不变时,其合力随夹角的增大而减小。当两力反向时,合力最小,为$|F_1-F_2|$;当两力同向时,合力最大,为F_1+F_2,$|F_1-F_2|\leqslant F_{合}\leqslant F_1+F_2$。

2.三个共面共点力的合力范围

(1)三个力共线且同向时,其合力最大,为 $F_1+F_2+F_3$。

(2)以这三个力的大小为边,如果能组成封闭的三角形(即任意一个力在另外两个力的合力范围内),则其合力最小为零,若不能组成封闭的三角形(即任意一个力不在另外两个力的合力范围内),则合力最小值的大小等于最大的一个力减去另外两个力的和。

例7 如图所示,AB 是半圆的直径,O 为圆心,P 点是圆上的一点,在 P 点作用了三个共点力 F_1、F_2、F_3。若 F_2 的大小已知,则这三个力的合力为 ( )



A.F_2 B.$2F_2$ C.$3F_2$ D.$4F_2$

解析 以 F_1、F_3 为邻边作平行四边形,由几何特征可知平行四边形是矩形,则合力大小为 $F_{13}=2F_2$,方向与 F_2 方向相同,故 F_1、F_2、F_3 的合力 $F=3F_2$,C 正确。

答案 C

三、正交分解法

1.将已知力按互相垂直的两个方向进行分解的方法叫正交分解法。正交分解法是高考的热点。

2.分解原则:以少分解力和容易分解力为原则。

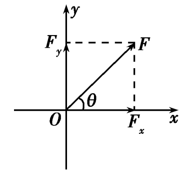
3.方法:物体受到多个力 F_1、F_2、F_3…作用,求合力 F 时,可把各力沿相互垂直的 x 轴、y 轴分解。

x 轴上的合力 $F_x=F_{x1}+F_{x2}+F_{x3}+\cdots$

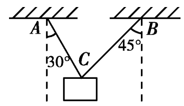
y 轴上的合力 $F_y=F_{y1}+F_{y2}+F_{y3}+\cdots$

合力大小:$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$

合力方向:与 x 轴夹角为 θ,则 $\tan\theta=\dfrac{F_y}{F_x}$。



例8 如图中,用绳 AC 和 BC 吊起一个重 50 N 的物体,绳 AC、BC 与竖直方向的夹角分别为 30°和 45°,求绳 AC 和 BC 对物体的拉力。

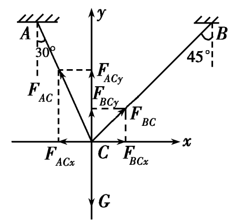


解题导引

将所有力分解到坐标轴上 → 共点力平衡条件$F_{合}=0$ → x轴上的合力等于零、y轴上的合力等于零,列两个方程 → 解方程求得两绳子的拉力

解析 此题可以用平行四边形定则求解,但因其夹角不是特殊角,计算麻烦,如果改用正交分解法则简便得多。

以 C 为原点建立直角坐标系,设 x 轴水平,y 轴竖直,在图上标出 F_{AC} 和 F_{BC} 在 x 轴和 y 轴上的分力,即



$F_{ACx}=F_{AC}\sin30°=\dfrac{1}{2}F_{AC}$

$F_{ACy}=F_{AC}\cos30°=\dfrac{\sqrt{3}}{2}F_{AC}$

$F_{BCx}=F_{BC}\sin45°=\dfrac{\sqrt{2}}{2}F_{BC}$

$F_{BCy}=F_{BC}\cos45°=\dfrac{\sqrt{2}}{2}F_{BC}$

在 x 轴上,F_{ACx} 与 F_{BCx} 大小相等,即

$\dfrac{1}{2}F_{AC}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}F_{BC}$ ①

在 y 轴上,F_{ACy} 与 F_{BCy} 的合力与重力相等,即

$\dfrac{\sqrt{3}}{2}F_{AC}+\dfrac{\sqrt{2}}{2}F_{BC}=50\text{ N}$ ②

解①②两式得

绳 BC 的拉力 $F_{BC}=25(\sqrt{6}-\sqrt{2})\text{ N}=25\sqrt{2}(\sqrt{3}-1)\text{ N}$,绳 AC 的拉力 $F_{AC}=50(\sqrt{3}-1)\text{ N}$。

答案 $50(\sqrt{3}-1)\text{ N}$ $25\sqrt{2}(\sqrt{3}-1)\text{ N}$

考点二 受力分析、共点力的平衡

考向基础

一、物体的受力分析

对物体进行受力分析是解决力学问题的基础,是研究力学问题的重要方法。受力分析的程序:

1.根据题意选取研究对象,选取研究对象的原则是要使对问题的研究尽量简便,它可以是单个物体或物体的某一部分,也可以是由几个物体组成的系统。

2.把研究对象从周围环境中隔离出来。

3.一般的受力分析顺序:先找重力,再找接触力(弹力、摩擦力),最后分析其他力。简记为:“重力一定有,弹力看四周,分析摩擦力,不忘电磁浮。”

4.检验:对分析情况进行检验,既不能多力也不能少力。

二、平衡状态及平衡条件

1.平衡状态:物体保持静止或匀速直线运动的状态。

2.共点力作用下物体的平衡条件

物体所受合外力为零即 $F_{合}=0$,若正交分解则$\begin{cases}F_{x合}=0\\F_{y合}=0\end{cases}$。

三、平衡条件重要推论

1.二力平衡

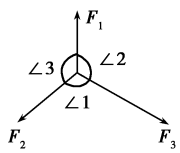
如果物体在两个共点力的作用下处于平衡状态,这两个力必定大小相等,方向相反,为一对平衡力。

2.三力平衡

(1)如果物体在三个共点力的作用下处于平衡状态,其中任意两个力的合力一定与第三个力大小相等、方向相反。

(2)物体在三个共点力作用下处于平衡状态时,表示这三个力的有向线段通过平移可构成封闭三角形。

(3)物体在三个共点力作用下处于平衡状态时,如图所示,则有(拉密定理):$\dfrac{F_1}{\sin\angle 1}=\dfrac{F_2}{\sin\angle 2}=\dfrac{F_3}{\sin\angle 3}$。



(4)三力汇交原理

如果一个物体受到三个非平行力作用而平衡,这三个力的作用线必定在同一平面内,而且必为共点力。

注意　处理多力平衡问题时,常采用合成的方法简化成二力平衡或三力平衡问题。

3.多力平衡

(1)如果物体在多个力作用下处于平衡状态,则其中任何一个力与其余力的合力大小相等,方向相反。

(2)物体在多个力作用下处于平衡状态,则表示这些力的有向线段通过平移,必定构成一个封闭多边形。

考向突破

考向　受力分析、共点力的平衡

一、受力分析的一般步骤

明确研究对象 → 隔离物体分析 → 画出受力示意图 → 检查受力分析是否有误

注意　受力分析时,有些力的大小和方向不能确定,必须根据物体受到的能够确定的几个力的情况和物体的运动状态进行判断,总之,要确保受力分析时不漏力、不添力、不错力。

二、受力分析的注意事项

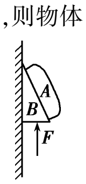
1.只分析研究对象所受的力,不分析研究对象对其他物体所施的力。

2.只分析性质力,不分析效果力。

3.每分析一个力,都应找出施力物体。

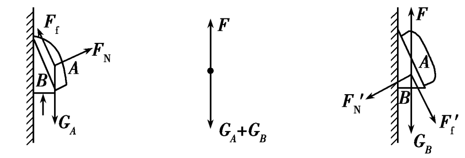
4.合力和分力不能同时作为物体所受的力。

例 1　如图所示,物体 B 与竖直墙面接触,在竖直向上的力 F 的作用下 A、B 均保持静止,则物体 B 的受力个数为　(　　)



A.2 个　　B.3 个　　C.4 个　　D.5 个

解析　物体 A 处于静止状态,其受到的合外力为零,受力分析如图甲所示;对物体 A、B 整体受力分析如图乙所示,竖直墙面对物体 B 没有弹力作用,则墙面也不会提供静摩擦力;对物体 B 受力分析,如图丙所示,则物体 B 受到 4 个力的作用,选项 C 正确。



甲　　乙　　丙

答案　C

三、解决平衡问题的基本思路

审读实际问题 → 弄清问题情景、题给条件和要求

确定研究对象 → 选用整体法或隔离法

对研究对象受力分析 → 规范画出受力示意图

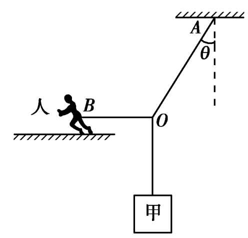
明确解题策略 → 合成法、分解法、图解法……

进行相关处理 → 合成或分解某些力,作出平行四边形

列出平衡方程 → 根据$F_{合}=0$或$\begin{cases}F_{x合}=0\\F_{y合}=0\end{cases}$

求解并讨论分析 → 应用数学知识

例 2　如图所示,质量为 m_1 的物体甲通过 3 段轻绳悬挂,3 段轻绳的结点为 O,轻绳 OB 水平且 B 端与站在水平面上的质量为 m_2 的人相连,轻绳 OA 与竖直方向的夹角 $\theta=37°$,物体甲及人均处于静止状态。(已知 $\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$,g 取 $10\ m/s^2$。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力)求:

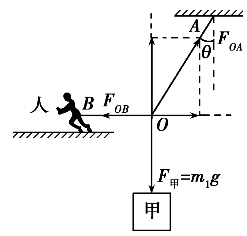


(1)轻绳 OA、OB 受到的拉力是多大?

(2)人受到的摩擦力是多大?方向如何?

(3)若人的质量 $m_2=60\ kg$,人与水平面之间的动摩擦因数为 $\mu=0.3$,则欲使人在水平面上不滑动,物体甲的质量 m_1 最大不能超过多少?

解析　(1)以结点 O 为研究对象,受力如图



将 F_{OA} 沿水平方向和竖直方向分解,由平衡条件有

$F_{OB}=F_{OA}\sin\theta$

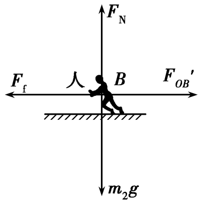
$F_{OA}\cos\theta=m_1g$

联立得 $F_{OA}=\dfrac{m_1g}{\cos\theta}=\dfrac{5}{4}m_1g$

$F_{OB}=m_1g\tan\theta=\dfrac{3}{4}m_1g$

故轻绳 OA、OB 受到的拉力大小分别为 $\frac{5}{4}m_1g$、$\frac{3}{4}m_1g$

(2)人水平方向受到 OB 绳的拉力和水平面的静摩擦力,竖直方向受重力和支持力,受力如图所示



由平衡条件得 $F_f=F_{OB}'$,又 $F_{OB}'=F_{OB}$,则 $F_f=\frac{3}{4}m_1g$,方向水平向左

(3)当甲的质量增大到人刚要滑动时,质量达到最大,此时人受到的静摩擦力达到最大值

当人刚要滑动时,静摩擦力达到最大值 $F_{fm}=\mu m_2g$

由平衡条件得 $F_{OBm}=F_{fm}$

又 $F_{OBm}=\frac{3}{4}m_{1m}g$

解得 $m_{1m}=\frac{4\mu m_2}{3}=24\ \text{kg}$

即物体甲的质量 m_1 最大不能超过 24 kg

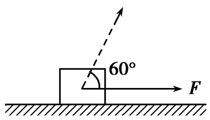
答案 (1)$\frac{5}{4}m_1g$ $\frac{3}{4}m_1g$ (2)$\frac{3}{4}m_1g$ 方向水平向左 (3)24 kg

考点集训

对应学生用书起始页码21

考点一 常见的三种力、力的合成与分解

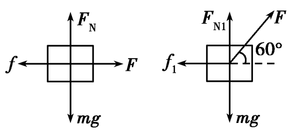
1.(2017课标Ⅱ,16,6分)如图,一物块在水平拉力 F 的作用下沿水平桌面做匀速直线运动。若保持 F 的大小不变,而方向与水平面成60°角,物块也恰好做匀速直线运动。物块与桌面间的动摩擦因数为 ( )



A.$2-\sqrt{3}$ B.$\frac{\sqrt{3}}{6}$ C.$\frac{\sqrt{3}}{3}$ D.$\frac{\sqrt{3}}{2}$

答案 C 本题考查受力分析、滑动摩擦力、共点力的平衡。

物块在水平力 F 作用下做匀速直线运动,其受力如图甲所示



甲 乙

由平衡条件:$F=f$、$F_N=mg$

而 $f=\mu F_N=\mu mg$

即 $F=\mu mg$

当 F 的方向与水平面成60°角时,其受力如图乙

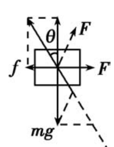
由平衡条件:

$F\cos 60°=f_1$

$f_1=\mu F_{N1}=\mu(mg-F\sin 60°)$

联立解得 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$,选项C正确。

一题多解 受力变化时,物块和桌面间的动摩擦因数不变,不妨假设摩擦力和支持力的合力方向与支持力的夹角为 θ,则有 $\tan\theta=\frac{f}{F_N}=\mu$,因 μ 不变,故 θ 角不变,即 F 与 mg 的合力方向不变,由图可知,当 F 由水平变为与水平面夹角为60°时,F 大小不变,

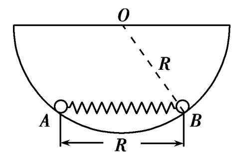


$\theta=30°$,再由 $\mu=\tan\theta$

得 $\mu=\tan 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}$

选项C正确。

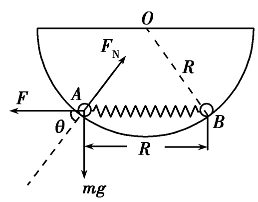
2.(2020届内蒙古联考,4)如图所示,质量均为 m 的 A、B 两球,由一根劲度系数为 k 的轻弹簧连接静止于半径为 R 的光滑半球形碗中,弹簧水平,两球间距为 R 且球半径远小于碗的半径。则弹簧的原长为 ( )



A.$\frac{mg}{k}+R$ B.$\frac{mg}{2k}+R$ C.$\frac{2\sqrt{3}mg}{3k}+R$ D.$\frac{\sqrt{3}mg}{3k}+R$

答案 D 本题考查物体受三力作用的平衡问题,体现了科学思维中的科学推理和科学论证要素。

以 A 球为研究对象,小球受重力、弹簧的弹力和碗的支持力,如图所示。



由平衡条件,得:$\tan\theta=\frac{mg}{F}=\frac{mg}{kx}$

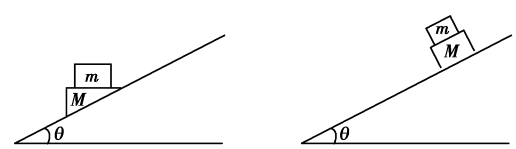
解得:$x=\frac{mg}{k\tan\theta}$

根据几何关系得:$\cos\theta=\frac{\frac{1}{2}R}{R}=\frac{1}{2}$,则 $\tan\theta=\sqrt{3}$,

所以 $x=\frac{mg}{k\tan\theta}=\frac{\sqrt{3}mg}{3k}$

故弹簧原长 $x_0=\frac{\sqrt{3}mg}{3k}+R$,故D正确。

3.(2020届江西上饶六校联考,10)(多选)如图甲、乙所示,倾角为 θ 的斜面上放置一滑块 M,在滑块 M 上放置一个物块 m,M 和 m 相对静止,一起沿斜面匀速下滑,下列说法正确的是 ( )



甲 乙

A.图甲中物块 m 受到摩擦力

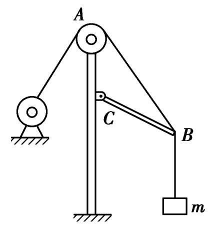
B.图乙中物块 m 受到摩擦力

C.图甲中物块 m 受到水平向左的摩擦力

D.图乙中物块 m 受到与斜面平行向上的摩擦力

答案　BD　本题考查了静摩擦力的产生条件、方向的判断,体现了物理观念中的运动与相互作用要素。对题图甲,设物块 m 受到重力、支持力、摩擦力,而重力、支持力平衡,若受到摩擦力作用,其方向水平,则物块 m 受力将不平衡,与题中条件矛盾,故假设不成立,A、C 错误。对题图乙,设物块 m 不受摩擦力,由于 m 匀速下滑,m 必受力平衡,若 m 只受重力、支持力作用,由于支持力与接触面垂直,故重力、支持力不可能平衡,则假设不成立,由受力分析知,m 受到与斜面平行向上的摩擦力,B、D 正确。

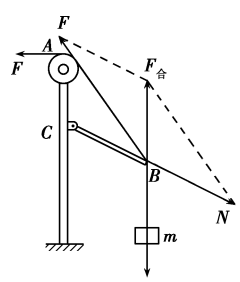
4.(2020 届甘肃兰州一中期中,16)如图所示为一简易起重装置,AC 是上端带有滑轮的固定支架,BC 为质量不计的轻杆,杆的一端 C 用铰链固定在支架上,另一端 B 悬挂一个质量为 m 的重物,并用钢丝绳跨过滑轮 A 连接在卷扬机上。开始时,杆 BC 与 AC 的夹角 $\angle BCA>90°$,现使 $\angle BCA$ 缓缓变小,直到 $\angle BCA=30°$。在此过程中,关于杆 BC 所受力(不计一切阻力)的说法正确的是　(　　)



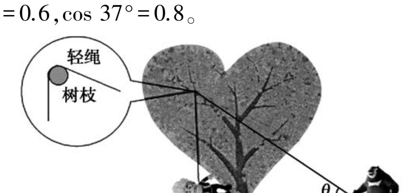
A.逐渐增大　B.先减小后增大
C.先增大后减小　D.大小不变

答案　D　本题考查了三力作用下的动态平衡问题,体现了物理观念中的运动与相互作用要素。

B 点受力分析如图所示,由相似三角形可得,$\frac{F_{合}}{AC}=\frac{N}{BC}=\frac{F}{AB}$,而 $F_{合}=G$,$\angle BCA$ 缓缓变小,直到 $\angle BCA=30°$。在此过程中,$F_{合}$和 AC、BC 长度都不变,则杆 BC 的作用力 N 的大小不变,选项 D 正确。



5.(2018 东北三校联考,13)在动画片《熊出没》中有个镜头,“熊二”用一根轻绳绕过树枝将“光头强”悬挂起来,如图所示。假设不计轻绳与树枝间的摩擦,此时轻绳与水平方向的夹角 $\theta=37°$,已知“光头强”体重 $G_1=600$ N,“熊二”体重 $G_2=1\ 800$ N,取 $\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$。



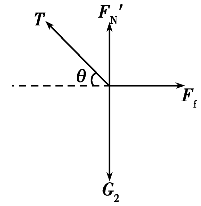
(1)求此时“熊二”对地面压力的大小 F_N;

(2)求此时“熊二”与地面间静摩擦力的大小 F_f;

(3)现“熊二”要把“光头强”吊挂得更高一些,向右水平移动了一小段距离,则“熊二”对地面压力大小和“熊二”与地面间静摩擦力大小是“变大”还是“变小”?

答案　(1)1 440 N　(2)480 N　(3)见解析

解析　对“熊二”受力分析如图所示



(1)轻绳的张力 $T=G_1=600$ N

由共点力的平衡得 $T\sin\theta+F_N{}'=G_2$

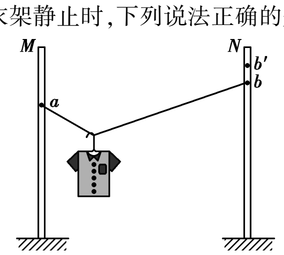
“熊二”对地面的压力大小 $F_N=F_N{}'=1\ 440$ N

(2)由受力分析可知 $F_f=T\cos\theta=480$ N

(3)“熊二”向右水平移动一小段距离,θ 减小,T 不变,则静摩擦力增大,支持力增大,由牛顿第三定律知,“熊二”对地面的压力增大。

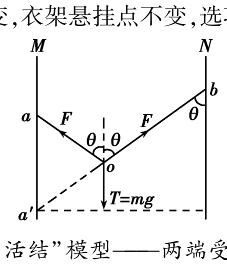
考点二　受力分析、共点力的平衡

1.(2017 天津理综,8,6 分)(多选)如图所示,轻质不可伸长的晾衣绳两端分别固定在竖直杆 M、N 上的 a、b 两点,悬挂衣服的衣架挂钩是光滑的,挂于绳上处于静止状态。如果只人为改变一个条件,当衣架静止时,下列说法正确的是　(　　)



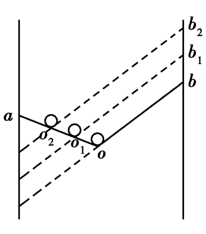
A.绳的右端上移到 b',绳子拉力不变
B.将杆 N 向右移一些,绳子拉力变大
C.绳的两端高度差越小,绳子拉力越小
D.若换挂质量更大的衣服,则衣架悬挂点右移

答案　AB　本题考查物体受力分析、物体的平衡。衣架挂钩为“活结”模型,oa、ob 为一根绳,两端拉力相等,设绳 aob 长为 L,M、N 的水平距离为 d,bo 延长线交 M 于 a',由几何知识知 $a'o=ao$,$\sin\theta=\frac{d}{L}$,由平衡条件有 $2F\cos\theta=mg$,则 $F=\frac{mg}{2\cos\theta}$,当 b 上移到 b'时,d、L 不变,θ 不变,故 F 不变,选项 A 正确,C 错误。将杆 N 向右移一些,L 不变,d 变大,θ 变大,$\cos\theta$ 变小,则 F 变大,选项 B 正确。只改变 m,其他条件不变,则 $\sin\theta$ 不变,θ 不变,衣架悬挂点不变,选项 D 错误。

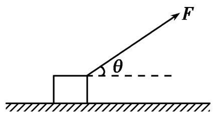


解题关键　绳的“活结”模型——两端受力相等

如果只改变 a、b 的高度差,不改变 a、b 间的水平距离,绳与竖直杆的夹角不变,在 b 点移动过程中,“活结”对应的位置如图所示。



2.(多选)如图所示,位于水平面上的物体在斜向上的恒力 F 的作用下,做速度为 v 的匀速运动,此时力 F 与水平方向的夹角为 θ。物体与水平面间的动摩擦因数为 μ。则 F 的最小值 F_{min} 和方向(与水平方向夹角的正切)为 ( )

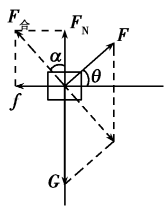


A. $F_{min}=\dfrac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}}$ B. $F_{min}=\dfrac{\mu mg}{\sqrt{1-\mu^2}}$

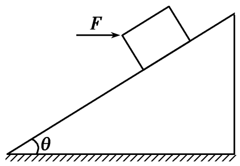
C. $\tan\theta=\mu$ D. $\tan\theta=\dfrac{1}{\mu}$

答案 AC **解法一**:根据平衡条件有 $F\cos\theta=\mu(mg-F\sin\theta)$,整理得:$F=\dfrac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}$,由数学知识可得:当 $\mu=\tan\theta$ 时 F 有最小值,其最小值为 $F_{min}=\dfrac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}}$,选项A、C正确。

解法二:对物体受力分析如图所示,设摩擦力 f 和支持力 F_N 的合力大小为 $F_合$,方向与 F_N 的夹角为 α,将四力平衡转化为三力平衡,当 F 与 $F_合$ 垂直时 F 有最小值,且 $\theta=\alpha$,$\tan\alpha=\tan\theta=\mu$,$F_{min}=mg\sin\alpha=\dfrac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}}$,选项A、C正确。



3.(2020届四川成都九校联考,12)如图所示,在倾角为 θ 的粗糙斜面上,有一个质量为 m 的物体被水平力 F 推着静止于斜面上,物体与斜面间的动摩擦因数为 μ,且 $\mu<\tan\theta$,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,求力 F 的取值范围。



答案 $\dfrac{\sin\theta-\mu\cos\theta}{\mu\sin\theta+\cos\theta}mg\le F\le\dfrac{\mu\cos\theta+\sin\theta}{\cos\theta-\mu\sin\theta}mg$

解析 本题考查了共点力作用下物体的平衡,体现了科学思维中科学推理要素。

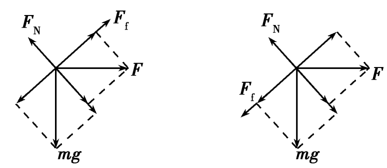
因为 $\mu<\tan\theta$,所以当 $F=0$ 时,物体不能静止。若物体在力 F 的作用下刚好不下滑,则物体受沿斜面向上的最大静摩擦力,且此时 F 最小,对物体受力分析,如图甲所示,由平衡条件得:

$mg\sin\theta=F_{min}\cos\theta+F_f$ ①

$F_N=mg\cos\theta+F_{min}\sin\theta$ ②

$F_f=\mu F_N$ ③

由①②③解得 $F_{min}=\dfrac{\sin\theta-\mu\cos\theta}{\mu\sin\theta+\cos\theta}mg$;



甲 乙

若物体在力 F 的作用下刚好不上滑,则物体受沿斜面向下的最大静摩擦力,且此时 F 最大,对物体受力分析,如图乙所示,

由平衡条件得:$mg\sin\theta+F_f=F_{max}\cos\theta$ ④

$F_N=mg\cos\theta+F_{max}\sin\theta$ ⑤

$F_f=\mu F_N$ ⑥

由④⑤⑥解得 $F_{max}=\dfrac{\mu\cos\theta+\sin\theta}{\cos\theta-\mu\sin\theta}mg$,

综上所述,F 的取值范围 $\dfrac{\sin\theta-\mu\cos\theta}{\mu\sin\theta+\cos\theta}mg\le F\le\dfrac{\mu\cos\theta+\sin\theta}{\cos\theta-\mu\sin\theta}mg$。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍
实战技能集训

方法技巧

对应学生用书起始页码22

方法1 平衡问题中的"隔离法"与"整体法"

1.隔离法 为了弄清系统内某个物体的受力和运动情况,一般可采用隔离法。

运用隔离法解题的基本步骤:

(1)明确研究对象或过程、状态;

(2)将某个研究对象、某段运动过程或某个状态从全过程中隔离出来;

(3)画出某状态下的受力图或运动过程示意图;

(4)选用适当的物理规律列方程求解。

2.整体法 当只涉及研究系统而不涉及系统内部某些物体的受力或运动时,一般可采用整体法。

运用整体法解题的基本步骤:

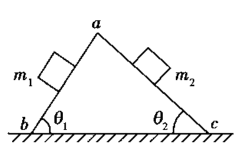
(1)明确研究的系统或运动的全过程;

(2)画出系统整体的受力图或运动全过程的示意图;

(3)选用适当的物理规律列方程求解。

隔离法和整体法常常需交叉运用,从而优化解题思路和方法,使解题简洁明快。

例1 在粗糙水平面上放着一个三角形木块 abc,在它的两个粗糙斜面上分别放有质量为 m_1 和 m_2 的两个物体,$m_1>m_2$,如图所示,若三角形木块和两物体都是静止的,则粗糙水平面对三角形木块 ( )



A.有摩擦力的作用,摩擦力的方向水平向右

B.有摩擦力的作用,摩擦力的方向水平向左

C.有摩擦力的作用,但摩擦力的方向不能确定,因 m_1、m_2、θ_1、θ_2 的数值均未给出

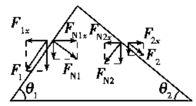
D.以上结论都不对

解析　**解法一(隔离法)**　把三角形木块隔离出来,它的两个斜面上分别受到两物体对它的压力 F_{N1}、F_{N2},摩擦力 F_1、F_2。由两物体的平衡条件知,这四个力的大小分别为

$F_{N1}=m_1g\cos\theta_1$　　$F_{N2}=m_2g\cos\theta_2$

$F_1=m_1g\sin\theta_1$　　$F_2=m_2g\sin\theta_2$

它们的水平分力的大小(如图所示)分别为



$F_{N1x}=F_{N1}\sin\theta_1=m_1g\cos\theta_1\sin\theta_1$

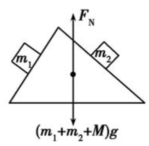
$F_{N2x}=F_{N2}\sin\theta_2=m_2g\cos\theta_2\sin\theta_2$

$F_{1x}=F_1\cos\theta_1=m_1g\cos\theta_1\sin\theta_1$

$F_{2x}=F_2\cos\theta_2=m_2g\cos\theta_2\sin\theta_2$

其中 $F_{N1x}=F_{1x}$,$F_{N2x}=F_{2x}$,即它们的水平分力互相平衡,木块在水平方向无滑动趋势,因此不受水平面的摩擦力作用。

解法二(整体法)　由于三角形木块和斜面上的两物体都静止,可以把它们看成一个整体,受力如图所示。设三角形木块质量为 M,则竖直方向受到重力 $(m_1+m_2+M)g$ 和支持力 F_N 作用处于平衡状态,水平方向无任何滑动趋势,因此不受水平面的摩擦力作用。



答案　D

方法 2　动态平衡问题中的图解分析法

所谓动态平衡问题,是指通过控制某些物理量,使物体的状态发生缓慢变化,而在这个过程中物体又始终处于一系列的平衡状态。利用图解法解决此类问题的基本方法:对研究对象在状态变化过程中的若干状态进行受力分析,依据某一参量的变化,在同一图中作出物体在若干平衡状态下的受力图(力的平行四边形或三角形),再由动态的力的平行四边形或三角形各边长度变化及角度变化,确定力的大小及方向的变化情况。

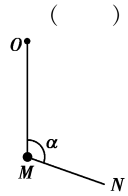
例 2　(2017 课标Ⅰ,21,6 分)如图,柔软轻绳 ON 的一端 O 固定,其中间某点 M 拴一重物,用手拉住绳的另一端 N。初始时,OM 竖直且 MN 被拉直,OM 与 MN 之间的夹角为 $\alpha(\alpha>\frac{\pi}{2})$。现将重物向右上方缓慢拉起,并保持夹角 α 不变。在 OM 由竖直被拉到水平的过程中　　(　　)

A.MN 上的张力逐渐增大

B.MN 上的张力先增大后减小

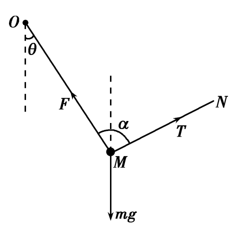
C.OM 上的张力逐渐增大

D.OM 上的张力先增大后减小



解析　本题考查对共点力平衡问题的理解和推理能力,要求运用数学工具求解物理问题。

设 MN 上的张力为 T,OM 上的张力为 F,在缓慢拉起的过程中重物处于动态平衡状态。当 OM 与竖直方向成任意 θ 角时,由受力分析有



$F\cos\theta+T\cos(\alpha-\theta)=mg$

$F\sin\theta=T\sin(\alpha-\theta)$

利用三角函数化简解得

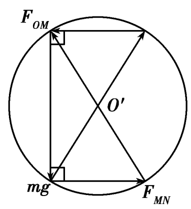
$T=\frac{\sin\theta}{\sin\alpha}mg$

$F=\frac{\sin(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}mg$

可知,在 θ 由 0 增加至 $\frac{\pi}{2}$ 的过程中,MN 上的张力 T 逐渐增大,选项 A 正确,B 错误。由于 OM 与 MN 之间的夹角 $\alpha>\frac{\pi}{2}$,所以在 θ 由 0 增加至 $\frac{\pi}{2}$ 的过程中,$\alpha-\theta$ 的值先由大于 $\frac{\pi}{2}$ 减小至 $\frac{\pi}{2}$ 后,进一步再减小,相应 $\sin(\alpha-\theta)$ 的值先增大后减小,即 OM 上的张力 F 先增大后减小,选项 C 错误,D 正确。

答案　AD

一题多解　重物受到重力 mg、OM 绳的拉力 F_{OM}、MN 绳的拉力 F_{MN} 共三个力的作用。缓慢拉起过程中任一时刻可认为是平衡状态,三力的合力恒为 0。如图所示,由三角形定则得一首尾相接的闭合三角形,由于 $\alpha>\frac{\pi}{2}$ 且不变,则三角形中 F_{MN} 与 F_{OM} 的交点在一个优弧上移动,由图可以看出,在 OM 被拉到水平的过程中,绳 MN 中拉力一直增大且恰好达到最大值,绳 OM 中拉力先增大后减小,故 A、D 正确,B、C 错误。

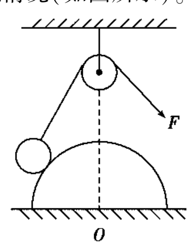


方法 3　平衡问题中的相似三角形法

如果在对力利用平行四边形定则(或三角形定则)运算的过程中,力三角形与几何三角形相似,则可根据相似三角形对应边成比例等性质求解。

第一步:画受力分析图
↓
第二步:将三个力构建为"力三角形"
↓
第三步:确定一个与"力三角形"相似的"几何三角形"
↓
第四步:利用相似三角形对应边成比例列方程

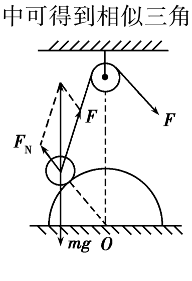
例 3　光滑半球面上的小球被一通过定滑轮的绳用力 F 由底端缓慢拉到顶端的过程中,试分析绳的拉力 F 及半球面对小球的支持力 F_N 的变化情况(如图所示)。



解题导引

对小球进行受力分析 → 将重力、拉力和支持力构建"力三角形" → 力三角形与几何三角形相似 → 利用相似三角形对应边比例相等求力的变化情况

解析　如图所示,作出小球的受力示意图,注意支持力 F_N 总与半球面垂直,从图中可得到相似三角形。



设半球面半径为 R,定滑轮到半球面的距离为 h,定滑轮左侧绳长为 L,根据三角形相似得 $\frac{F}{L}=\frac{mg}{h+R}$ $\frac{F_N}{R}=\frac{mg}{h+R}$

由以上两式得绳的拉力 $F=mg\frac{L}{h+R}$

半球面对小球的支持力 $F_N=mg\frac{R}{h+R}$

由于在拉动过程中 h、R 不变,L 变小,故 F 减小、F_N 不变。

答案 见解析

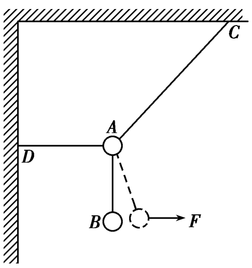
名师点拨 用相似三角形法解这类问题很方便,但应用这种方法时,要求所研究物体处于平衡状态。

方法集训

对应学生用书起始页码 24

方法 1 平衡问题中的"隔离法"与"整体法"

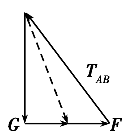
1.(2018 陕西西安模拟,6)如图所示,三根轻细绳悬挂两个质量相同的小球保持静止,A、D 间细绳是水平的,现对 B 球施加一个水平向右的力 F,将 B 缓缓拉到图中虚线位置,这时三根细绳张力 T_{AC}、T_{AD}、T_{AB} 的变化情况是 ( )



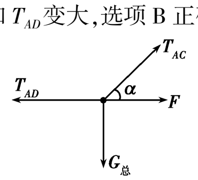
A.都变大　　B.T_{AD} 和 T_{AB} 变大,T_{AC} 不变

C.T_{AC} 和 T_{AB} 变大,T_{AD} 不变　　D.T_{AC} 和 T_{AD} 变大,T_{AB} 不变

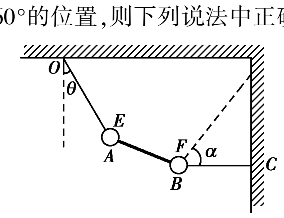
答案 B 对小球 B 分析,小球 B 受重力 G、细绳的拉力 T_{AB}、水平力 F,此三力满足如图所示的关系,由图知,T_{AB} 变大,F 变大。



对 A、B 两球整体受力分析,如图所示,设 AC 细绳与水平方向的夹角为 α,则竖直方向有:$T_{AC}\sin\alpha=G_总$,所以 T_{AC} 不变,$T_{AD}=T_{AC}\cos\alpha+F$,则知 T_{AD} 变大,选项 B 正确,选项 A、C、D 错误。



2.(2018 河南名校联考,7)(多选)一轻质杆两端分别固定质量均为 m 的小球 A、B,由细线 OE、FC 悬挂于水平天花板及竖直墙壁上,如图所示,其中 OE 与竖直方向的夹角 $\theta=30°$,FC 水平,现保持轻杆位置不变,而将 FC 线的 C 端缓慢上移到 FC 与水平方向成 $\alpha=60°$ 的位置,则下列说法中正确的是 ( )



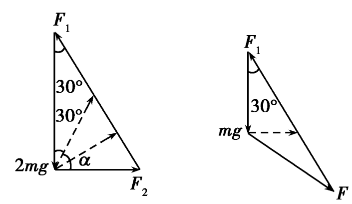
A.细线 OE 的拉力一直减小且减小了 $\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$

B.细线 FC 的拉力先减小后增大,其最小值为 mg

C.细线 FC 的拉力一直减小且减小了 mg

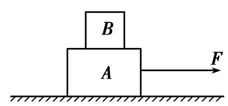
D.轻杆的弹力先减小后增大,其最小值为 $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$

答案 AB 取两小球及轻杆整体为研究对象,整体受重力 $2mg$、细线 OE 的拉力 F_1 及细线 FC 的拉力 F_2 作用处于平衡状态。此三力满足图甲所示关系,当 C 端缓慢上移时,由图知细线 OE 的拉力一直减小,最初其大小为 $\frac{2mg}{\cos 30°}=\frac{4\sqrt{3}}{3}mg$,移动后其大小为 $\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$,减小了 $\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$,A 选项正确;由图甲知细线 FC 的拉力先减小后增大,其最小值为 mg,B 选项正确,C 选项错误;取 A 球为研究对象,其所受重力、细线 OE 的拉力 F_1 及轻杆的弹力 F 满足图乙所示关系,因为末态时 OE 的拉力大小为 $\frac{2\sqrt{3}}{3}mg=\frac{mg}{\cos 30°}$,所以最后杆的弹力正好沿水平方向,由图乙知杆的弹力一直在减小,D 选项错误。



甲　　　乙

3.(2020 届内蒙古集宁一中摸底,8)(多选)如图所示,在粗糙的水平面上叠放着物体 A 和 B,A 和 B 间的接触面也是粗糙的,如果用水平拉力 F 施于 A,而 A、B 仍保持静止,则下面的说法中正确的是 ( )



A.物体 A 与地面间的静摩擦力的大小等于 F

B.物体 A 与地面间的静摩擦力的大小等于零

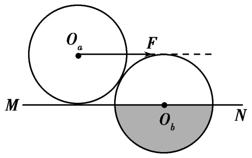
C.物体 A 与 B 间的静摩擦力的大小等于 F

D.物体 A 与 B 间的静摩擦力的大小等于零

答案 AD 本题考查了运用状态法判断静摩擦力的大小,体现了物理观念中运动与相互作用要素。以 A、B 整体为研究对象,分析受力可知,整体水平方向受到拉力 F 和地面对 A 的静摩擦力 f_A,由平衡条件得,$f_A=F$,故 A 正确,B 错误。以 B 为研究对象,分析受力可知,B 相对于 A 没有运动趋势,B 不受静摩擦力,即物体 A 与 B 间的静摩擦力的大小等于零,故 C 错误,D 正确。

方法 2 动态平衡问题中的图解分析法

1.(多选)如图所示,形状和质量完全相同的两个圆柱体 a、b,靠在一起,表面光滑,重力为 G,其中 b 的下半部分刚好固定在水平面 MN 的下方,上边露出另一半,a 静止在水平面上,现过 a 的轴心施加一水平作用力 F,可缓慢地将 a 拉离水平面一直滑到 b 的顶端,对该过程分析,则应有 ( )



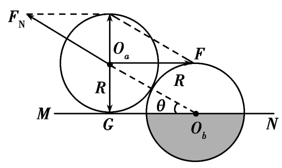
A.拉力 F 先增大后减小,最大值是 G

B.开始时拉力 F 最大为$\sqrt{3}G$,以后逐渐减小为 0

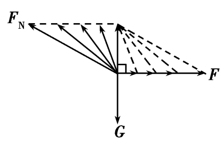
C.a、b 间的压力开始最大为 $2G$,而后逐渐减小到 G

D.a、b 间的压力由 0 逐渐增大,最大为 G

答案　BC　要把 a 拉离水平面,在刚拉离时水平面 MN 对 a 的支持力应为零,因此对 a 受力分析如图甲所示,则 $\sin\theta=\dfrac{R}{2R}=\dfrac{1}{2}$,所以 $\theta=30°$,拉力 $F=\dfrac{G}{\tan 30°}=\sqrt{3}G$;当 a 逐渐上移时用图解法分析可知 F 逐渐减小至零(如图乙所示);在开始时,a、b 间的压力 $F_N=\dfrac{G}{\sin 30°}=2G$,以后逐渐减小至 G。因此选项 B、C 正确,A、D 错误。

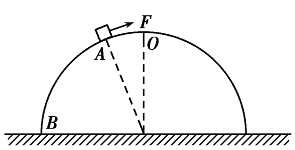


图甲



图乙

2.(2018 陕西西安模拟,9)(多选)如图所示,上表面光滑的半圆柱体放在水平地面上,一小物块从靠近半圆柱体顶点 O 的 A 点,在外力 F 作用下沿圆弧缓慢下滑到 B 点,此过程中 F 始终沿圆弧的切线方向且半圆柱体保持静止状态。下列说法中正确的是　(　　)



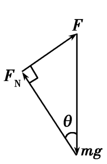
A.半圆柱体对小物块的支持力变大

B.地面对半圆柱体的摩擦力先增大后减小

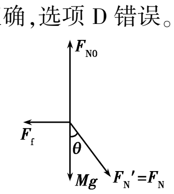
C.外力 F 变大

D.地面对半圆柱体的支持力变大

答案　BC　对小物块受力分析,作出力的三角形如图甲所示,小物块处于平衡状态,则:$F=mg\sin\theta$,$F_N=mg\cos\theta$,下滑过程中,θ 增大,故 F_N 减小,F 增大,选项 A 错误,选项 C 正确;对半圆柱体受力分析如图乙所示,则地面对半圆柱体的摩擦力 $F_f=F_N'\sin\theta=mg\cos\theta\sin\theta=\dfrac{1}{2}mg\sin 2\theta$,地面对半圆柱体的支持力:$F_{N0}=Mg+F_N'\cos\theta=Mg+mg\cos^2\theta$,所以在小物块下滑过程中,地面对半圆柱体的摩擦力先增大后减小,地面对半圆柱体的支持力一直减小,选项 B 正确,选项 D 错误。

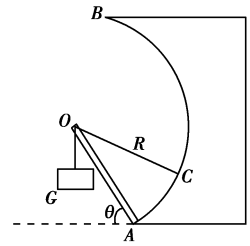


甲



乙

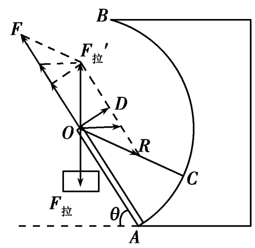
3.(2020 届东北三校联考,6)如图所示,有一质量不计的杆 AO,长为 R,可绕 A 自由转动,且绳在 O 点悬挂一个重为 G 的物体,另一根绳一端系在 O 点,另一端系在圆弧形墙壁上的 C 点。当点 C 由图示位置逐渐向上沿圆弧 CB 移动过程中(保持 OA 与地面夹角 θ 不变),OC 绳所受拉力的大小变化情况是　(　　)



A.逐渐减小　　B.逐渐增大

C.先减小后增大　　D.先增大后减小

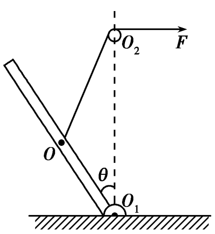
答案　C　本题考查了三力作用下的动态平衡问题,体现了物理观念中的运动与相互作用要素。对物体分析,物体受力平衡,则拉力等于重力,故竖直绳的拉力不变。再对 O 点分析,O 受绳子拉力、OA 的支持力及 OC 绳上的拉力而处于平衡,受力分析如图所示。将 OA 的支持力和 OC 绳上的拉力合成,其合力与 G 大小相等,方向相反,则在 OC 上移的过程中,平行四边形的对角线保持不变,平行四边形发生图中所示变化,则由图可知 OC 绳上的拉力先减小后增大,图中 D 点时力最小,故选 C。



易错点评　试题中轻杆的 A 端是可以自由转动的,属于有转轴的杆——动杆模型。所以杆对 O 点的力的方向一定是沿着杆方向的。这一点必须分析清楚,否则将使解题陷入僵局。

方法 3　平衡问题中的相似三角形法

1.如图所示,质量分布均匀的细棒中心为 O 点,O_1 为光滑铰链,O_2 为光滑定滑轮,O_2 在O_1正上方,一根轻绳一端系于 O 点,另一端跨过定滑轮O_2由水平外力 F 牵引,用 N 表示铰链对杆的作用力,现在外力 F 作用下,细棒从图示位置缓慢转到竖直位置的过程中,下列说法正确的是　(　　)



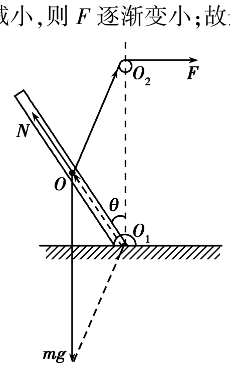
A.F 逐渐变小,N 大小不变

B.F 逐渐变小,N 大小变大

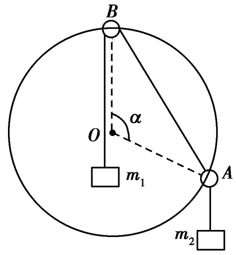
C.F 先变小后变大,N 逐渐变小

D.F 先变小后变大,N 逐渐变大

答案　A　画出杆的受力图如图所示,由力三角形与几何三角形相似可知:$\dfrac{N}{OO_1}=\dfrac{mg}{O_1O_2}=\dfrac{F}{OO_2}$,因 OO_1 和 O_1O_2 不变,则 N 不变;而 OO_2 逐渐减小,则 F 逐渐变小;故选 A。



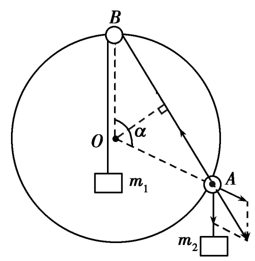
2.(2018东北三校联考,9)如图所示,小圆环A上系着一个质量为m_2的物块并套在另一个竖直放置的大圆环上,有一轻绳一端拴在小圆环A上,另一端跨过固定在大圆环最高点B的一个小滑轮后吊着一个质量为m_1的物块。如果小圆环、滑轮的大小和质量以及所有的摩擦都可以忽略不计,绳子又不可伸长,若平衡时弦AB所对应的圆心角为α,则两物块的质量之比$m_1:m_2$应为　(　　)



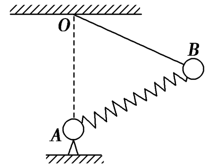
A.$\cos\dfrac{\alpha}{2}$　　B.$\sin\dfrac{\alpha}{2}$

C.$2\sin\dfrac{\alpha}{2}$　　D.$2\cos\dfrac{\alpha}{2}$

答案　C　对小圆环进行受力分析如图所示,小圆环受上面绳子的拉力,大小为m_1g,下面绳子的拉力,大小为m_2g,以及大圆环对它沿着OA向外的支持力,由相似三角形可得$\dfrac{m_1g}{AB}=\dfrac{m_2g}{OB}$,故$\dfrac{m_1}{m_2}=\dfrac{AB}{OB}$,在等腰三角形$OAB$中,过$O$作底边$AB$的垂线,有$\sin\dfrac{\alpha}{2}=\dfrac{\frac{AB}{2}}{OB}=\dfrac{AB}{2OB}$,因此$\dfrac{AB}{OB}=2\sin\dfrac{\alpha}{2}$,则$\dfrac{m_1}{m_2}=2\sin\dfrac{\alpha}{2}$,选项C正确。

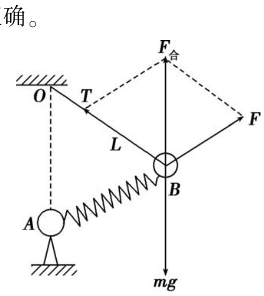


3.(2020届山西五校联考,8)(多选)如图所示,质量均为m的小球A、B用劲度系数为k_1的轻弹簧相连,B球用长为L的细绳悬于O点,A球固定在O点正下方,当小球B平衡时,所受绳子的拉力为T_1,弹簧的弹力为F_1;现把A、B间的弹簧换成原长相同但劲度系数为$k_2(k_2>k_1)$的另一轻弹簧,在其他条件不变的情况下仍使系统平衡,此时小球B所受绳子的拉力为T_2,弹簧的弹力为F_2。则下列关于T_1与T_2、F_1与F_2大小之间的关系,正确的是　(　　)



A.$T_1>T_2$　B.$T_1=T_2$　C.$F_1<F_2$　D.$F_1=F_2$

答案　BC　本题考查了运用相似三角形处理三力作用下的平衡问题,体现了科学思维中的科学推理要素。以小球B为研究对象,分析受力情况,如图所示。由平衡条件可知,弹簧的弹力F和绳子的拉力T的合力$F_合$与重力mg大小相等,方向相反,即$F_合=mg$,作出力的合成图如图所示,由相似三角形可得:$\dfrac{mg}{AO}=\dfrac{F}{AB}=\dfrac{T}{OB}$。当弹簧劲度系数变大时,弹簧的压缩量减小,故$AB$长度增加,而$OB$、$OA$的长度不变,故$T_1=T_2$,$F_2>F_1$,A、D错误,B、C正确。

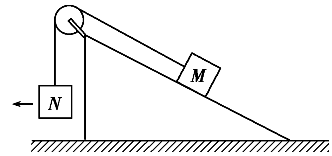


方法点拨　用相似三角形解答的问题特点:物体受三个力,其中一个的大小、方向不变,另外两个力的方向均变化。此时用图解法无法分析,但会出现几何三角形与力构成的三角形相似的特点,用相似三角形对应边成比例可使问题迎刃而解。

5年高考 2015-2019　对应学生用书 起始页码215

A组　基础题组

1.(2019课标Ⅰ,19,6分)(多选)如图,一粗糙斜面固定在地面上,斜面顶端装有一光滑定滑轮。一细绳跨过滑轮,其一端悬挂物块N,另一端与斜面上的物块M相连,系统处于静止状态。现用水平向左的拉力缓慢拉动N,直至悬挂N的细绳与竖直方向成45°。已知M始终保持静止,则在此过程中　(　　)



A.水平拉力的大小可能保持不变

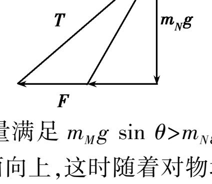
B.M所受细绳的拉力大小一定一直增加

C.M所受斜面的摩擦力大小一定一直增加

D.M所受斜面的摩擦力大小可能先减小后增加

答案　BD　本题考查了受力分析、共点力平衡中的动态平衡内容、理解能力和推理能力的应用,体现了核心素养中科学推理、科学论证要素。

用水平拉力向左缓慢拉动N,如图所示,水平拉力F逐渐增大,细绳的拉力T逐渐增大,则细绳对M的拉力逐渐增大,故A错误,B正确。



当物块M的质量满足$m_Mg\sin\theta>m_Ng$时,初始时M受到的摩擦力方向沿斜面向上,这时随着对物块N的缓慢拉动,细绳的拉力T逐渐增大,物块M所受的摩擦力先向上逐渐减小,然后可能再向下逐渐增大,故C错误,D正确。

解题关键　①系统处于静止状态,水平向左缓慢拉动N,M处于平衡状态,则N处于动态平衡状态。②因为物块M和物块N的质量关系未知,故存在多种可能,其中临界条件为$m_Mg\sin\theta=m_Ng$。

2.(2017 课标Ⅲ,17,6 分) 一根轻质弹性绳的两端分别固定在水平天花板上相距 80 cm 的两点上,弹性绳的原长也为 80 cm。将一钩码挂在弹性绳的中点,平衡时弹性绳的总长度为100 cm;再将弹性绳的两端缓慢移至天花板上的同一点,则弹性绳的总长度变为(弹性绳的伸长始终处于弹性限度内)　(　　)

A.86 cm　　B.92 cm　　C.98 cm　　D.104 cm

答案　B　设弹性绳劲度系数为 k,绳总长 $l_1=100$ cm 时,绳上弹力大小 $F_1=k(l_1-l_0)$,绳中点处受力平衡,设绳与水平方向夹角为 θ,则有 $2F_1\sin\theta=F'=G$,$\cos\theta=\frac{4}{5}$,$\sin\theta=\frac{3}{5}$,绳两端缓慢移至同一点时,设绳长为 l_2,其弹力大小 $F_2=k(l_2-l_0)$,此时绳中点处受力平衡,有 $2F_2=F'=G$,综上所述有 $2k(l_1-l_0)\sin\theta=2k(l_2-l_0)$,解得 $l_2=92$ cm,则选项 B 正确。

解题关键　关键词理解与情景构建

弹性绳可按弹簧模型处理,始终处于弹性限度内说明劲度系数 k 不变,钩码挂在绳的中点,绳中点处受力平衡,两侧绳上弹力大小相等,等于弹性绳的弹力。

3.(2016 江苏单科,1,3 分) 一轻质弹簧原长为 8 cm,在 4 N 的拉力作用下伸长了 2 cm,弹簧未超出弹性限度。则该弹簧的劲度系数为　(　　)

A.40 m/N　　B.40 N/m

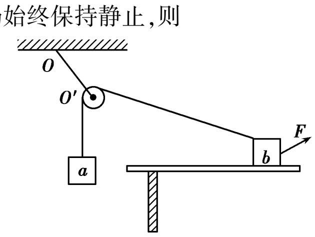
C.200 m/N　　D.200 N/m

答案　D　根据胡克定律有 $F=kx$,则 $k=\frac{F}{x}=\frac{4}{2\times10^{-2}}$ N/m=200 N/m,故 D 正确。

易混点拨　$F=kx$ 中的 x 为弹簧的形变量,而不是弹簧的总长度。本题中如果用弹簧总长度计算 k 值,则会错选 B。

评析　本题考查胡克定律的应用,为容易题。

4.(2016 课标Ⅰ,19,6 分)(多选)如图,一光滑的轻滑轮用细绳 OO'悬挂于 O 点;另一细绳跨过滑轮,其一端悬挂物块 a,另一端系一位于水平粗糙桌面上的物块 b。外力 F 向右上方拉 b,整个系统处于静止状态。若 F 方向不变,大小在一定范围内变化,物块 b 仍始终保持静止,则　(　　)



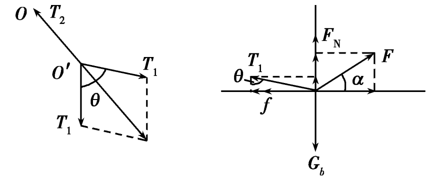
A.绳 OO'的张力也在一定范围内变化

B.物块 b 所受到的支持力也在一定范围内变化

C.连接 a 和 b 的绳的张力也在一定范围内变化

D.物块 b 与桌面间的摩擦力也在一定范围内变化

答案　BD　系统处于静止状态,连接 a 和 b 的绳的张力大小 T_1 等于物块 a 的重力 G_a,C 项错误;以 O'点为研究对象,受力分析如图甲所示,T_1 恒定,夹角 θ 不变,由平衡条件知,绳 OO'的张力 T_2 恒定不变,A 项错误;以 b 为研究对象,受力分析如图乙所示,则



甲　　　　乙

$F_N+T_1\cos\theta+F\sin\alpha-G_b=0$

$f+T_1\sin\theta-F\cos\alpha=0$

F_N、f 均随 F 的变化而变化,故 B、D 项正确。

温馨提示　关键词:①光滑的轻滑轮;②水平粗糙桌面;③系统静止;④F 方向不变。

隐含条件　整个系统处于静止状态,则绳子间的夹角不变,各段绳子上的拉力大小不变。

方法技巧　以 O'点为研究对象,由三力平衡分析绳 OO'的张力变化情况;以物块 b 为研究对象,用正交分解法列方程分析物块 b 所受支持力及与桌面间摩擦力的变化情况。

5.(2019 天津理综,2,6 分) 2018 年 10 月 23 日,港珠澳跨海大桥正式通车。为保持以往船行习惯,在航道处建造了单面索(所有钢索均处在同一竖直面内)斜拉桥,其索塔与钢索如图所示。下列说法正确的是　(　　)



A.增加钢索的数量可减小索塔受到的向下的压力

B.为了减小钢索承受的拉力,可以适当降低索塔的高度

C.索塔两侧钢索对称且拉力大小相同时,钢索对索塔的合力竖直向下

D.为了使索塔受到钢索的合力竖直向下,索塔两侧的钢索必须对称分布

答案　C　本题考查实际情景下的受力分析和力的合成与分解,是物理知识在实际生活中的具体应用,体现了科学思维中的科学推理素养。本题以港珠澳跨海大桥为背景材料,关注我国的科技进步,体现爱国主义情怀。

每根钢索对索塔的拉力可分解为水平分力和竖直向下的分力,竖直方向上,索塔受到的向下的压力大小等于钢索和桥面的总重力,故增加钢索数量不能减小索塔受到的向下的压力,A 错;降低索塔高度,钢索的水平倾角减小,钢索所受拉力反而会增大,B 错;不论两侧钢索是否对称分布,只要两侧钢索的水平分力相互抵消,钢索对索塔的合力就会竖直向下,C 对,D 错。

解题关键　对索塔和钢索进行受力分析,正确进行力的分解与合成是解决本题的关键。

B 组　提升题组

1.(2019 课标Ⅱ,16,6 分) 物块在轻绳的拉动下沿倾角为 30°的固定斜面向上匀速运动,轻绳与斜面平行。已知物块与斜面之间的动摩擦因数为$\frac{\sqrt{3}}{3}$,重力加速度取 10 m/s²。若轻绳能承受的最大张力为 1 500 N,则物块的质量最大为　(　　)

A.150 kg　　B.$100\sqrt{3}$ kg　　C.200 kg　　D.$200\sqrt{3}$ kg

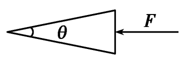
答案　A　本题考查了对平衡条件的理解与应用,检验了理解能力、推理能力,体现了模型建构、科学推理等核心素养。

物块沿斜面向上匀速运动,则物块受力平衡,满足关系$F-$

$mg\sin 30°-\mu mg\cos 30°=0$,其中$\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$,$g=10\ m/s^2$,当$F=1\ 500$ N时,物块的质量最大,为$m=\frac{F}{g\sin 30°+\mu g\cos 30°}=150$ kg,故A正确。

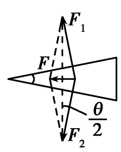
审题指导 ①物块沿斜面向上匀速运动,说明摩擦力为滑动摩擦力,$f=\mu mg\cos\theta$。②轻绳承受最大张力时对应物块的质量最大。

2.(2018天津理综,7,6分)(多选)明朝谢肇淛的《五杂组》中记载:“明姑苏虎丘寺塔倾侧,议欲正之,非万缗不可。一游僧见之曰:无烦也,我能正之。”游僧每天将木楔从塔身倾斜一侧的砖缝间敲进去,经月余扶正了塔身。假设所用的木楔为等腰三角形,木楔的顶角为θ,现在木楔背上加一力F,方向如图所示,木楔两侧产生推力F_N,则 ( )



A.若F一定,θ大时F_N大 B.若F一定,θ小时F_N大
C.若θ一定,F大时F_N大 D.若θ一定,F小时F_N大

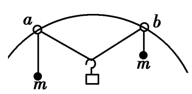
答案 BC 本题考查力的分解。如图所示,把力F分解在垂直于木楔两侧的方向上,根据力的作用效果可知,$F_1=F_2=F_N=\frac{F}{2\sin\frac{\theta}{2}}$,由此式可见,B、C项正确,A、D项错。



思路分析 力的分解方法

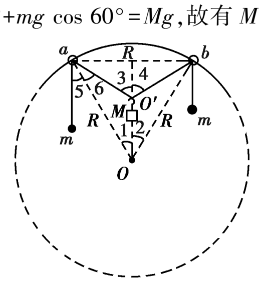
按照力的实际作用效果分解力,得出F_N的函数式,结论便一目了然。

3.(2016课标Ⅲ,17,6分)如图,两个轻环a和b套在位于竖直面内的一段固定圆弧上;一细线穿过两轻环,其两端各系一质量为m的小球。在a和b之间的细线上悬挂一小物块。平衡时,a、b间的距离恰好等于圆弧的半径。不计所有摩擦。小物块的质量为 ( )



A.$\frac{m}{2}$ B.$\frac{\sqrt{3}}{2}m$ C.m D.$2m$

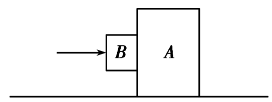
答案 C 由于物块通过挂钩悬挂在线上,细线穿过圆环且所有摩擦都不计,可知线上各处张力都等于小球重力mg。如图所示,由对称性可知a、b位于同一水平线上,物块处于圆心O点正上方,则$\angle 1=\angle 2$,$\angle 3=\angle 4$,$\angle 1=\angle 5$。因圆弧对轻环的弹力沿圆弧半径方向,且轻环重力不计,由平衡条件知环两侧细线关于圆弧半径对称,即$\angle 5=\angle 6$,由几何关系得$\angle 1=\angle 2=\angle 5=\angle 6=30°$,$\angle 3=\angle 4=60°$。再由物块与挂钩的受力平衡有$mg\cos 60°+mg\cos 60°=Mg$,故有$M=m$,C正确。



温馨提示 隐含条件:①不计所有摩擦及小球质量均为m意味着a和b在同一水平线上,且左右对称平衡。②a、b间距等于半径意味着a、b间圆弧对应的圆心角等于60°。

评析 试题以连接体的平衡为载体,考查了受力分析、平衡条件的应用,对数学运算能力有较高的要求,难度中等偏上。

4.(2015山东理综,16,6分)如图,滑块A置于水平地面上,滑块B在一水平力作用下紧靠滑块A(A、B接触面竖直),此时A恰好不滑动,B刚好不下滑。已知A与B间的动摩擦因数为μ_1,A与地面间的动摩擦因数为μ_2,最大静摩擦力等于滑动摩擦力。A与B的质量之比为 ( )

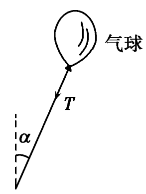


A.$\frac{1}{\mu_1\mu_2}$ B.$\frac{1-\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$

C.$\frac{1+\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$ D.$\frac{2+\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$

答案 B 设水平作用力大小为F,则对于B:$\mu_1F=m_Bg$,对于整体:$F=\mu_2(m_A+m_B)g$,解得$\frac{m_A}{m_B}=\frac{1-\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$。

5.(2019江苏单科,2,3分)如图所示,一只气球在风中处于静止状态,风对气球的作用力水平向右。细绳与竖直方向的夹角为α,绳的拉力为T,则风对气球作用力的大小为 ( )

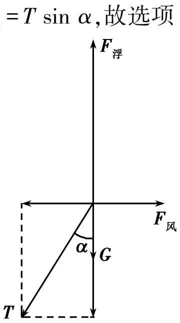


A.$\frac{T}{\sin\alpha}$ B.$\frac{T}{\cos\alpha}$

C.$T\sin\alpha$ D.$T\cos\alpha$

答案 C 本题考查力的分解内容,有利于培养应用数学知识处理物理问题的能力,体现了核心素养中的模型建构要素。

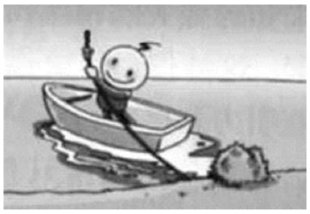
如图所示,气球处于平衡状态,在水平方向上风力与拉力T的水平分力平衡,$F_风=T\sin\alpha$,故选项C正确。



关键指导 气球在浮力、重力、水平向右的风力和绳的拉力共同作用下处于平衡状态,其中浮力与重力的合力竖直向上。

C 组　教师专用题组

1.(2019 浙江 4 月选考,6,3 分) 如图所示,小明撑杆使船离岸,则下列说法正确的是　(　　)



A.小明与船之间存在摩擦力

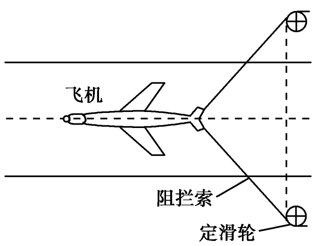
B.杆的弯曲是由于受到杆对小明的力

C.杆对岸的力大于岸对杆的力

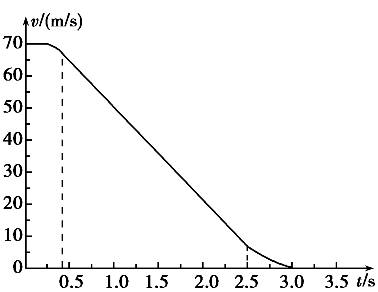
D.小明对杆的力和岸对杆的力是一对相互作用力

答案　A　小明与船之间存在相对运动的趋势,则存在静摩擦力,选项 A 正确;杆的弯曲是由于杆受到力的作用,选项 B 错误;杆对岸的力与岸对杆的力是作用力与反作用力,大小相等,选项 C 错误;小明对杆的力和杆对小明的力是一对相互作用力,选项 D 错误。

2.(2013 课标Ⅰ,21,6 分)(多选)2012 年 11 月,“歼 15”舰载机在“辽宁号”航空母舰上着舰成功。图(a)为利用阻拦系统让舰载机在飞行甲板上快速停止的原理示意图。飞机着舰并成功钩住阻拦索后,飞机的动力系统立即关闭,阻拦系统通过阻拦索对飞机施加一作用力,使飞机在甲板上短距离滑行后停止。某次降落,以飞机着舰为计时零点,飞机在 $t=0.4$ s时恰好钩住阻拦索中间位置,其着舰到停止的速度-时间图线如图(b)所示。假如无阻拦索,飞机从着舰到停止需要的滑行距离约为 1 000 m。已知航母始终静止,重力加速度的大小为 g。则　(　　)



图(a)



图(b)

A.从着舰到停止,飞机在甲板上滑行的距离约为无阻拦索时的 1/10

B.在 0.4 s~2.5 s 时间内,阻拦索的张力几乎不随时间变化

C.在滑行过程中,飞行员所承受的加速度大小会超过 $2.5g$

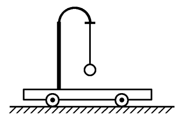
D.在 0.4 s~2.5 s 时间内,阻拦系统对飞机做功的功率几乎不变

答案　AC　速度图线与时间轴所围面积表示物体的位移,估算图中面积约为 110 m,故 A 正确;由于速度图线的斜率表示物体的加速度,由图可知在 0.4 s~2.5 s 内飞机加速度大小几乎不变,约为 27 m/s²,则飞机所受阻拦索的合力 F 不变,但飞机的速度在减小,两侧阻拦索间夹角 θ 在减小,故由 $P=Fv$ 知 D 错误,由 $F=2T\cos\frac{\theta}{2}$ 知阻拦索的张力在减小,B 错误;由上述知 C 正确。

温馨提示　先要读懂 v-t 图线与飞机运动过程的对应关系,0.4 s 飞机钩住阻拦索中间位置时,飞机开始做匀减速直线运动,0.4~2.5 s 这一段时间的 v-t 图线与时间轴所围面积表示对应的位移,而斜率表示加速度。斜率保持不变表明合外力不变,而由图(a)可知,这个合力是两部分阻拦索对飞机的拉力与摩擦力的合力,摩擦力不变,则阻拦索对飞机拉力的合力保持不变,两个等值分力间的夹角越小,两个等值分力就越小。

评析　本题结合社会热点,以舰载机为背景,利用速度图像,考查了识图能力、估算能力,在知识方面考查了图线与坐标轴所围面积与斜率的意义、力的合成与分解、功率等,考查有深度也有广度。

3.(2014 课标Ⅰ,17,6 分) 如图,用橡皮筋将一小球悬挂在小车的架子上,系统处于平衡状态。现使小车从静止开始向左加速,加速度从零开始逐渐增大到某一值,然后保持此值,小球稳定地偏离竖直方向某一角度(橡皮筋在弹性限度内),与稳定在竖直位置时相比,小球的高度　(　　)



A.一定升高

B.一定降低

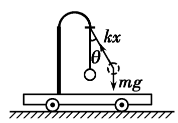
C.保持不变

D.升高或降低由橡皮筋的劲度系数决定

答案　A　设橡皮筋原长为 l_0

加速前平衡时橡皮筋伸长了 x_0

则有 $kx_0=mg$



当加速并稳定时设小球偏离竖直方向 θ 角,橡皮筋伸长了 x

由小球在竖直方向受力平衡有

$kx\cos\theta=mg$

联立得 $kx\cos\theta=kx_0$

$x\cos\theta=x_0$

此时小球距悬挂点的竖直距离

$h=(l_0+x)\cos\theta$

$=l_0\cos\theta+x\cos\theta$

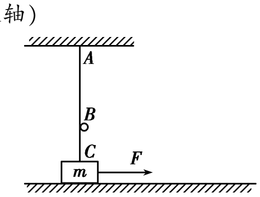
$=l_0\cos\theta+x_0<l_0+x_0$

故小球一定升高

选项 A 正确。

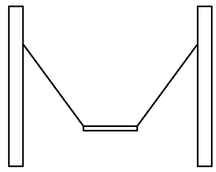
解题思路　求解本题的关键是以小球为研究对象,小球在竖直方向上受力始终平衡,即 $mg=kx_0=kx\cos\theta$,$x_0=x\cos\theta$。而 $l_0\cos\theta<l_0$,导致 $l_0\cos\theta+x_0<l_0+x_0$,即小球升高。解题时不能只注意到 $x_0=x\cos\theta$ 而忽视 $l_0\cos\theta<l_0$。

相似模型　如图弹性皮筋原长 $l_0=l_{AB}$,在弹性限度内用力 F 将物块 m 向右拉动过程中,物块 m 对地面的压力是否变化?(B 为光滑的固定轴)



4.(2014 山东理综,14,6 分) 如图,用两根等长轻绳将木板悬挂在竖直木桩上等高的两点,制成一简易秋千。某次维修时将两轻绳各剪去一小段,但仍保持等长且悬挂点不变。木板静止时,F_1 表示木板所受合力的大小,F_2 表示单根轻绳对木板拉

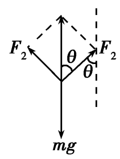
力的大小,则维修后 ( )



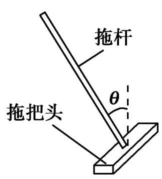
A.F_1 不变,F_2 变大　　B.F_1 不变,F_2 变小

C.F_1 变大,F_2 变大　　D.F_1 变小,F_2 变小

答案 **A** 木板静止时受力情况如图所示,设轻绳与竖直木桩的夹角为 θ,由平衡条件知,合力 $F_1=0$,故 F_1 不变,$F_2=\dfrac{mg}{2\cos\theta}$,剪短轻绳后,$\theta$ 增大,$\cos\theta$ 减小,F_2 增大,故 A 正确。



5.(2012 课标,24,14 分) 拖把是由拖杆和拖把头构成的擦地工具(如图)。设拖把头的质量为 m,拖杆质量可忽略;拖把头与地板之间的动摩擦因数为常数 μ,重力加速度为 g。某同学用该拖把在水平地板上拖地时,沿拖杆方向推拖把,拖杆与竖直方向的夹角为 θ。



(1)若拖把头在地板上匀速移动,求推拖把的力的大小。

(2)设能使该拖把在地板上从静止刚好开始运动的水平推力与此时地板对拖把的正压力的比值为 λ。已知存在一临界角 θ_0,若 $\theta\leq\theta_0$,则不管沿拖杆方向的推力多大,都不可能使拖把从静止开始运动。求这一临界角的正切 $\tan\theta_0$。

答案 (1)$\dfrac{\mu mg}{\sin\theta-\mu\cos\theta}$ (2)λ

解析 (1)设该同学沿拖杆方向用大小为 F 的力推拖把,将推拖把的力沿竖直和水平方向分解,按平衡条件有

$F\cos\theta+mg=N$ ①

$F\sin\theta=f$ ②

式中 N 和 f 分别为地板对拖把的正压力和摩擦力。由摩擦定律有

$f=\mu N$ ③

联立①②③式得

$F=\dfrac{\mu}{\sin\theta-\mu\cos\theta}mg$ ④

(2)若不管沿拖杆方向用多大的力都不能使拖把从静止开始运动,应有

$F\sin\theta\leq\lambda N$ ⑤

这时,①式仍满足,联立①⑤式解得

$\sin\theta-\lambda\cos\theta\leq\lambda\dfrac{mg}{F}$

现考察使上式成立的 θ 角的取值范围。注意到上式右边总是大于零,且当 F 无限大时极限为零,有

$\sin\theta-\lambda\cos\theta\leq 0$

使上式成立的 θ 角满足 $\theta\leq\theta_0$,这里 θ_0 是题中所定义的临界角,即当 $\theta\leq\theta_0$ 时,不管沿拖杆方向用多大的力都推不动拖把。临界角的正切为

$\tan\theta_0=\lambda$。

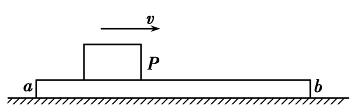
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 216

时间:45 分钟 分值:70 分

一、选择题(每小题 6 分,共 48 分)

1.(2020 届青海西宁模拟,4) 如图所示,质量为 m 的木块 P 在质量为 M 的长木板 ab 上滑行,长木板放在水平地面上一直处于静止状态。若 ab 与地面间的动摩擦因数为 μ_1,木块 P 与长木板 ab 间的动摩擦因数为 μ_2,则长木板 ab 受到地面的摩擦力大小为 ( )

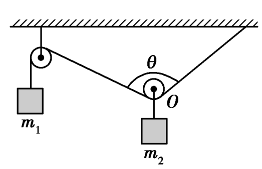


A.μ_1Mg　　B.$\mu_1(m+M)g$

C.μ_2mg　　D.$\mu_1Mg+\mu_2mg$

答案 **C** 本题考查了滑动摩擦力和静摩擦力的大小计算和方向判断,体现了科学思维中科学推理、科学论证要素。木块 P 相对长木板 ab 向右滑动,受到向左的滑动摩擦力,大小为 $F_{f1}=\mu_2mg$;力的作用是相互的,故木块 P 对长木板 ab 有向右的滑动摩擦力,故长木板 ab 有向右滑动的趋势,受到地面对其向左的静摩擦力;根据共点力平衡条件有 $F_{f2}=F_{f1}$,因而 $F_{f2}=\mu_2mg$,故选 C。

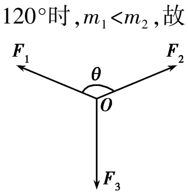
2.(2020 届贵州贵阳模拟,8) (多选)如图所示,用滑轮将质量为 m_1、m_2 的两物体悬挂起来,忽略滑轮和绳的重力及一切摩擦,使得 $0<\theta<180°$,整个系统处于平衡状态,关于 m_1、m_2 的大小关系应为 ( )



A.m_1 必大于 m_2　　B.m_1 必大于 $\dfrac{m_2}{2}$

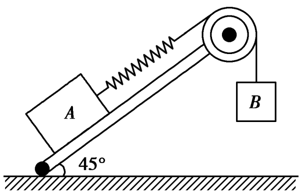
C.m_1 可能等于 m_2　　D.m_1 可能大于 m_2

答案 **BCD** 本题考查了共点力的平衡中的绳子活结模型,要求运用数学工具解决物理问题的能力,体现了科学思维中科学推理、科学论证要素。结点 O 受三个力的作用,如图所示,系统平衡时 $F_1=F_2=m_1g$,$F_3=m_2g$,所以 $2m_1g\cos\dfrac{\theta}{2}=m_2g$,$m_1=\dfrac{m_2}{2\cos\dfrac{\theta}{2}}$,所以 m_1 必大于 $\dfrac{m_2}{2}$。当 $\theta=120°$ 时,$m_1=m_2$;当 $\theta>120°$ 时,$m_1>m_2$;当 $\theta<120°$ 时,$m_1<m_2$,故 B、C、D 选项正确。



3.(2018 河北定州期中,3) (多选)如图所示,物体 A、B 用细绳与轻弹簧连接后跨过滑轮。A 静止在倾角为 45°的粗糙斜面上,B 悬挂着。已知质量 $m_A=3m_B$,不计滑轮摩擦,现将斜面倾角

由 45°减小到 30°，那么下列说法中正确的是（最大静摩擦力等于滑动摩擦力）（　　）



A.弹簧的弹力将增大

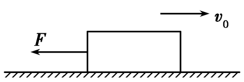
B.物体 A 对斜面的压力将增大

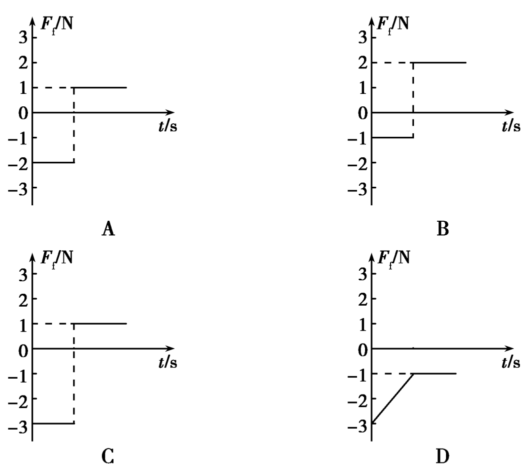
C.物体 A 受到的静摩擦力将减小

D.物体 A 可能被拉动

答案　BC　对物体 B 受力分析，受重力和拉力，由二力平衡得到 $T=m_Bg$，因绳对弹簧拉力等于弹簧弹力，则知弹簧的弹力不变，大小为 m_Bg，故 A 错误。物体 A 对斜面的压力为 $N=m_Ag\cos\theta$，θ 减小，N 将增大，故 B 正确。物体 A 所受的最大静摩擦力 $f_m=\mu N$，因为 N 变大，故最大静摩擦力变大，对物体 A 在沿斜面方向上，原来有 $3m_Bg\sin 45°-m_Bg=f_1$，后来 $3m_Bg\sin 30°-m_Bg<f_1$，实际其受到的静摩擦力减小，故物体 A 不可能被拉动，故选项 C 正确，选项 D 错误。

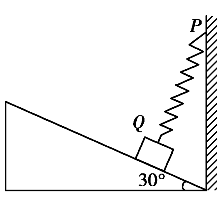
4.（2020 届广西柳州模拟）如图所示，质量为 1 kg 的物体与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，从 $t=0$ 开始以初速度 v_0 沿水平地面向右滑行，同时受到一个水平向左的恒力 $F=1$ N 的作用，g 取 10 m/s²，向右为正方向，该物体受到的摩擦力 F_f 随时间变化的图像是（最大静摩擦力等于滑动摩擦力）（　　）





答案　A　本题考查了摩擦力的产生条件、大小计算和分析判断，具有从图像中获取信息的能力，体现了科学思维中科学推理要素。从 $t=0$ 开始物体以一定初速度 v_0 向右滑行时，物体受到水平向左的滑动摩擦力，$F_{f1}=-\mu F_N=-\mu mg=-2$ N；最大静摩擦力 $F_{fm}=\mu mg=2$ N，由于 $F<F_{fm}$，所以当物体的速度减小到零时，物体将停止运动，受到水平向右的静摩擦力，由平衡条件得物体受到的静摩擦力为 $F_{f2}=F=1$ N，故选项 A 正确。

5.（2018 福建厦门质检）如图所示，一个质量为 m 的滑块置于倾角为 30°的固定粗糙斜面上，一根轻弹簧一端固定在竖直墙上的 P 点，另一端系在滑块上的 Q 点，直线 PQ 与斜面垂直，滑块保持静止。则（　　）



A.弹簧可能处于原长状态

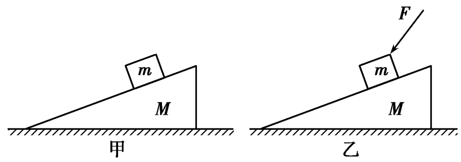
B.斜面对滑块的摩擦力大小可能为零

C.斜面对滑块的支持力大小可能为零

D.滑块一定受到四个力作用

答案　A　若滑块受重力、支持力和摩擦力，且三者合力为零时，弹簧对滑块没有作用力，弹簧处于原长状态，所以 A 正确，D 错误；若摩擦力为零，滑块不可能静止，所以 B 错误；若支持力为零，则摩擦力也为零，滑块不可能静止，所以 C 错误。

6.（2020 届陕西西安中学期中，4）质量为 m 的物体，沿倾角为 α 的斜面体 M 匀速下滑，如甲图所示，物体与斜面体之间的动摩擦因数为 μ，若物体下滑过程中，给物体施加外力 F 如乙图所示，使物体沿斜面体加速下滑，斜面体仍然静止在桌面上，下述说法正确的是（　　）



A.斜面体受到的摩擦力方向一定沿桌面向左

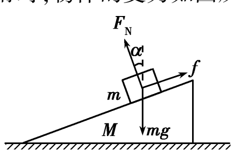
B.斜面体受到的摩擦力方向一定沿桌面向右

C.斜面体相对桌面无相对运动趋势，故无摩擦力

D.一定是 $\mu<\tan\alpha$

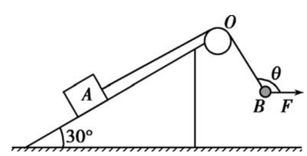
答案　C　本题考查了滑动摩擦力的分析和计算，体现了物理观念中的运动与相互作用要素。

当物体匀速下滑时，物体的受力如图所示



F_N 与 f 的合力与 mg 为一对平衡力，故 F_N 与 f 的合力方向竖直向上，且 F_N 与合力方向的夹角为 α，$\tan\alpha=\frac{f}{F_N}=\mu$，此时物体对 M 的作用力方向竖直向下，因此 M 没有运动趋势，M 与桌面间无摩擦力；当给物体施加 F 作用力后，物体受到的支持力和摩擦力的方向不变，二者的合力方向仍为竖直向上，物体对 M 作用力方向仍为竖直向下，M 仍无运动趋势，摩擦力为 0，选项 C 正确。

7.（2019 安徽 A10 联盟 2 月联考，20）（多选）如图，倾角为 30°的斜面体放置于粗糙水平面上，物块 A 通过跨过光滑定滑轮的柔软轻绳与小球 B 连接，O 点为轻绳与定滑轮的接触点。初始时，小球 B 在水平向右的拉力 F 作用下使轻绳 OB 段与水平拉力 F 的夹角 $\theta=120°$，整个系统处于静止状态。现将小球向右上方缓慢拉起，并保持夹角 θ 不变。从初始到轻绳 OB 段水平的过程中，斜面体与物块 A 均保持静止不动，则在此过程中（　　）



A.拉力 F 逐渐增大

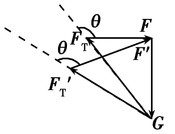
B.轻绳上的张力先增大后减小

C.地面对斜面体的支持力逐渐增大

D.地面对斜面体的摩擦力先增大后减小

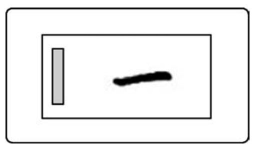
答案　AD　小球 B 受重力 G、轻绳 OB 的拉力 F_T 和拉力 F，由题意可知，三个力的合力始终为零，力的矢量三角形如图所示，在 F_T 转至水平的过程中，轻绳 OB 的拉力 F_T 逐渐减小，拉

力 F 逐渐增大,故选项 A 正确,选项 B 错误;整体(含斜面体、物块 A 和小球 B)受到向下的重力、向上的支持力、向左的摩擦力和拉力四个力的作用,根据小球的受力分析可知,拉力 F 的竖直分力逐渐增大,水平分力先增大后减小,所以支持力逐渐减小,摩擦力先增大后减小,故选项 C 错误,选项 D 正确。



思路分析 对 B 受力分析,由共点力的平衡条件可求得拉力变化,再对整体受力分析,可求得地面对斜面体的摩擦力。

8.(2020 届甘肃兰州一中期中,15)中国书法艺术历史悠久,某同学用毛笔练习书法,从基础笔画“横”开始练习。如图,在楷书笔画中,长横的写法要领如下:起笔时一顿,然后向右行笔,收笔时略向右按,再向左回带。该同学在水平桌面上平铺一张纸,为防止打滑,他在纸的左侧靠近边缘处用镇纸压住。则关于向右行笔过程中物体的受力情况,说法正确的是 ( )



A.笔对纸的压力一定大于毛笔的重力

B.镇纸受到了向右的静摩擦力

C.白纸受到了两个摩擦力的作用

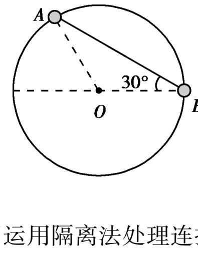
D.桌面受到了向左摩擦力作用

答案 C 本题考查了摩擦力的产生条件,体现了科学思维中的模型建构要素。

在向右行笔过程中,毛笔受到重力、纸的支持力、向左的滑动摩擦力和手对笔的作用力,因此笔对纸的压力与笔的重力大小关系无法确定,选项 A 错误;向右行笔过程中,毛笔受到向左的摩擦力,由牛顿第三定律可知,纸受到毛笔的摩擦力向右,纸具有向右运动趋势,桌面对纸有向左的摩擦力,桌面受到的摩擦力向右,选项 D 错误;对镇纸分析,如果镇纸受到向右的摩擦力,则水平方向受力不平衡,镇纸就不能处于静止状态,因此,镇纸和纸之间无摩擦力,放镇纸的目的是增大纸和桌面间的压力,从而增加最大静摩擦力,故白纸只受两个摩擦力的作用,选项 B 错误、选项 C 正确。

二、非选择题(共 22 分)

9.(10 分)(2020 届江西红色七校二模,10)一光滑圆环固定在竖直平面内,环上套着两个小球 A 和 B(中央有孔),A、B 间由细绳连接,它们处于如图所示位置时恰好都能保持静止状态。此情况下,B 球与环中心 O 处于同一水平面上,AB 间的细绳呈伸直状态,与水平线成 30°夹角。已知 B 球的质量为 m,求细绳对 B 球的拉力大小和 A 球的质量。



答案 $2mg$ $2m$

解析 本题考查了运用隔离法处理连接体中力的平衡问题,体现了科学思维中的科学推理要素。

对 B 球,受力分析如图所示。则有 $F_T\sin 30°=mg$

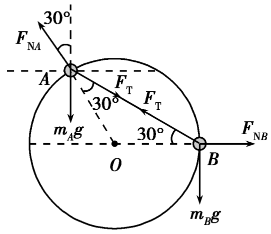
得 $F_T=2mg$

对 A 球,受力分析如图所示。

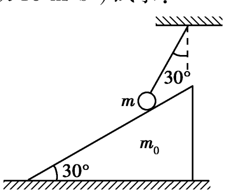
在水平方向:$F_T\cos 30°=F_{NA}\sin 30°$

在竖直方向:$F_{NA}\cos 30°=m_Ag+F_T\sin 30°$

由以上方程解得:$m_A=2m$。



10.(12 分)(2018 广西钦州阶段检测,15)一个底面粗糙、质量为 $m_0=5$ kg 的劈放在粗糙的水平面上,劈的斜面光滑且与水平面成 30°角;现用一端固定的轻绳系一质量为 $m=3$ kg 的小球,小球放在斜面上,小球静止时轻绳与竖直方向的夹角也为 30°,如图所示,(g 取 10 m/s^2)试求:



(1)当劈静止时绳子的拉力大小;

(2)若地面对劈的最大静摩擦力等于地面对劈支持力的 k 倍,为使整个系统静止,k 值必须满足什么条件?

答案 (1)$10\sqrt{3}$ N (2)$k\geqslant\frac{\sqrt{3}}{13}$

解析 (1)对小球进行受力分析,如图 1 所示

$F_T\cos 30°+F_{N1}\cos 30°=mg$

$F_T\sin 30°=F_{N1}\sin 30°$

解得 $F_T=F_{N1}=\frac{\sqrt{3}}{3}mg=10\sqrt{3}$ N

(2)对劈进行受力分析如图 2 所示

$F_{N2}=m_0g+F_{N1}'\cos 30°$

$F_f=F_{N1}'\sin 30°$

又 $F_{N1}=F_{N1}'$

要使整体不滑动,则有 $F_f\leqslant kF_{N2}$

解得 $k\geqslant\frac{\sqrt{3}}{13}$

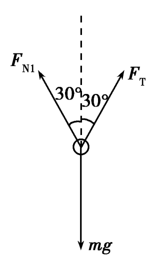


图1

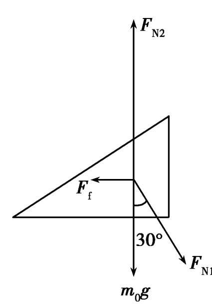


图2

专题三　牛顿运动定律

探考情 悟真题
5年考情探究
真题典例探秘

考情探究
对应学生用书起始页码26

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
牛顿运动定律	对牛顿第一定律和惯性的理解	2019北京理综,20,6分	3		科学本质		★★☆
		2015江苏单科,6,4分	3		运动与相互作用观念		
		2015课标Ⅱ,20,6分	4		运动与相互作用观念		
	对牛顿第二定律的理解	2019浙江4月选考,12,3分	3		运动与相互作用观念		
		2016课标Ⅰ,18,6分	4	曲线运动	运动与相互作用观念		
		2015重庆理综,3,6分	3		运动与相互作用观念		
		2015海南单科,9,5分	3		运动与相互作用观念		
牛顿运动定律的应用	利用图像解答牛顿运动定律问题	2018课标Ⅰ,15,6分	4	$F-x$图像	运动与相互作用观念	图像法	★★★
		2015课标Ⅰ,20,6分	3	$v-t$图像	运动与相互作用观念	图像法	
	连接体	2019课标Ⅲ,20,6分	4	$f-t$、$v-t$图像	运动与相互作用观念	图像法	
		2019江苏单科,15,16分	4		运动与相互作用观念		
		2017课标Ⅲ,25,20分	4		科学推理		

分析解读

牛顿运动定律是力学乃至整个物理学的基本规律。本专题主要考查牛顿运动定律的理解、计算、应用三方面,题型有选择题、计算题。牛顿运动定律是高考的必考内容。本专题应主要掌握整体法、隔离法的应用,会用正交分解法规范地做题,掌握超重和失重的分析,会分析解决传送带模型及连接体问题,能综合运用牛顿运动定律和运动学规律解题。

真题探秘

对应学生用书起始页码 27

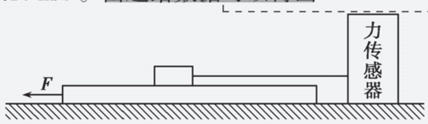
（2019课标Ⅲ，20，6分）（多选）如图（a），物块和木板叠放在实验台上，物块用一不可伸长的细绳与固定在实验台上的力传感器相连，细绳水平。$t=0$时，木板开始受到水平外力F的作用，在$t=4$ s时撤去外力。细绳对物块的拉力f随时间t变化的关系如图（b）所示，木板的速度v与时间t的关系如图（c）所示。木板与实验台之间的摩擦可以忽略。重力加速度取10 m/s²。由题给数据可以得出（　　）

形象直观地创设出物理情景

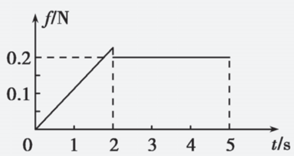
给定第一个条件：外力的作用时间

给定第二个条件：力随时间的变化规律和物体的运动状态

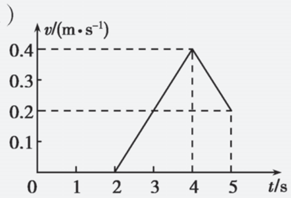
设问针对下面各个选项的问题出现，暗示题目解答要根据问题需要切入。前2s内木板静止，摩擦力为静摩擦力。2-4s内木板加速，摩擦力为滑动摩擦力



图（a）



图（b）



图（c）

A.木板的质量为1 kg

B.2 s～4 s内，力F的大小为0.4 N

C.0～2 s内，力F的大小保持不变

D.物块与木板之间的动摩擦因数为0.2

❶ 核心要点

1.连接体的受力分析，静摩擦力和滑动摩擦力的分析和计算。

2.运动图像与受力关系。

3.牛顿运动定律的分析与计算。

❷ 情景解读

根据题给图像可以确定木板在不同的时间段的运动性质，可以确定物块和木板间的摩擦力情况。

❸ 思路分析

以木板为研究对象，通过f-t与v-t图像对相应过程进行受力分析、运动分析，列方程解出相应的问题。

由图（b）和图（c）可知木板在前2 s静止，绳子拉力随时间的变化规律即为静摩擦力的变化规律，可求得拉力F的变化规律。同样，对后两段的运动情况，由v-t图像求出木板的加速度，结合牛顿第二定律便可确定其余选项所涉及的问题。

❹ 素养目标

注重在机械运动情境下培养学生的运动与相互作用观念和模型建构等物理学科核心素养。

❺ 命题规律

连接体中的受力分析和通过物体所处的运动状态确定两种摩擦力的情况。

❻ 能力要求

1.连接体中综合运用隔离法和牛顿第二定律的能力。

2.从图像中获取信息的能力。

❼ 易错警示

前两秒内木板静止，物块和木板间为静摩擦力，其大小由物块所处状态决定。后两段变为滑动摩擦力，其大小不变，且由$F_f=\mu F_N$和两段运动状态进行计算，但由于物块对木板的压力无法确定，因此，动摩擦因数不能求得。

❽ 答案

AB　详细解析见53页5年高考B组第1题

破考点 练考向

考点考向清单 考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 27

考点一　牛顿运动定律

考向基础

一、牛顿第一定律

1.内容

一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。

2.意义

(1)揭示了物体在不受外力或所受合外力为零时的运动规律。

(2)提出了一切物体都具有惯性，即保持原来运动状态的特性。

(3)揭示了力与运动的关系，说明力不是维持物体运动状态的原因，而是改变物体运动状态的原因，即产生加速度的原因。

二、惯性

1.定义：一切物体都有保持匀速直线运动状态或静止状态的性质，我们把这个性质叫做惯性。

2.惯性大小的量度

(1)质量是物体惯性大小的唯一量度，质量大的物体惯性大，反之物体惯性小。

(2)惯性与物体是否受力、怎样受力无关，与物体是否运动、怎样运动无关，与物体所处的地理位置无关，一切有质量的物体都具有惯性。

三、牛顿第二定律

1.内容：物体的加速度的大小跟它受到的合外力成正比，跟它的质量成反比，加速度的方向跟合外力的方向相同。

2.表达式：$F_{合}=ma$。

该表达式只能在国际单位制中成立，因为公式 $F_{合}=kma$ 只有在国际单位制中才有 $k=1$。

3.物理意义

反映物体运动的加速度大小、方向与所受合外力的关系，且这种关系是瞬时的。

4.力的单位：当质量单位为kg，加速度单位为m/s^2 时，力的单位为N，即1 N=1 kg·m/s^2。

5.牛顿第二定律的适用范围

(1)牛顿第二定律只适用于相对地面静止或匀速直线运动的参考系。

(2)牛顿第二定律只适用于宏观、低速运动的物体。

四、单位制、基本单位、导出单位

1.单位制：基本单位和导出单位一起组成了单位制。

(1)基本量：只要选定几个物理量的单位，就能够利用这几个单位推导出其他物理量的单位。这些被选定的物理量叫做基本量。

(2)基本单位：基本物理量的单位。力学中的基本量有三个，它们是质量、长度、时间；它们的单位是基本单位，分别是kg、m、s。

(3)导出单位：由基本单位根据物理公式推导出来的其他物理量的单位。

2.国际单位制中的基本单位

基本物理量	符号	单位名称	单位符号
质量	m	千克(公斤)	kg
时间	t	秒	s
长度	l	米	m
电流	I	安[培]	A
热力学温度	T	开[尔文]	K
物质的量	$n,(\nu)$	摩[尔]	mol
发光强度	$I,(I_V)$	坎[德拉]	cd

五、牛顿第三定律

1.作用力与反作用力的关系

作用力与反作用力的关系可总结为“三同、三异、三无关”。

(1)三同：同大小；同时产生、变化、消失；同性质

(2)三异：反向；异体；不同效果

(3)三无关：与物体的种类无关；与相互作用的两物体的运动状态无关；与是否与另外物体相互作用无关

2.一对作用力、反作用力和一对平衡力的区别

	作用力与反作用力	一对平衡力
相同点	等大、反向、作用在同一条直线上	

续表

		作用力与反作用力	一对平衡力
不同点	受力物体	作用在两个不同的物体上	作用在同一个物体上
	依赖关系	相互依存，不可单独存在	无依赖关系，解除一个，另一个可依然存在，只是不再平衡
	力的效果	两力作用效果不可抵消，不可叠加，不可求合力	两力作用效果可相互抵消，可叠加，可求合力，合力为零
	力的性质	一定相同	不一定相同

考向突破

考向一　对牛顿第一定律和惯性的理解

1.惯性的表现形式

(1)物体在不受外力或所受的合外力为零时，惯性表现为使物体保持原来的运动状态(静止或匀速直线运动)不变。

(2)物体受到外力时，惯性表现为运动状态改变的难易程度。惯性大，物体运动状态难以改变；惯性小，物体运动状态容易改变。

2.惯性定律与惯性的实质是不同的

(1)惯性是物体保持原有运动状态不变的一种性质，与物体是否受力、受力的大小无关。

(2)惯性定律(牛顿第一定律)则反映物体在一定条件下的运动规律。

3.牛顿第一定律与牛顿第二定律的关系

(1)牛顿第一定律不是实验定律，它是以伽利略的“理想实验”为基础，经过科学抽象、归纳推理而总结出来的；牛顿第二定律是通过探究加速度与力和质量的关系得出的实验定律。

(2)牛顿第一定律不是牛顿第二定律的特例，而是不受任何外力的理想情况，在此基础上，牛顿第二定律定量地指出了力和运动的联系：$F=ma$。

注意　(1)惯性不是一种力，对物体受力分析时，不能把“惯性力”作为物体实际受到的力。

(2)物体的惯性总是以“保持原状”或“反抗改变”两种形式表现出来。

例1　一汽车在路面情况相同的公路上沿直线行驶，下面关于车速、惯性、质量和滑行位移的讨论，正确的是　(　　)

A.车速越大，它的惯性越大

B.质量越大，它的惯性越大

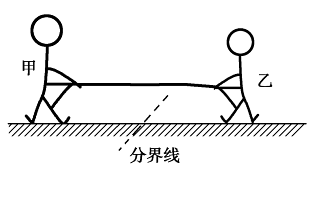
C.车速越大，刹车后滑行的位移越大

D.车速越大，刹车后滑行的位移越大，所以惯性越大

解析　质量是惯性大小的唯一决定因素，惯性是物体的固有属性，质量越大，惯性越大，所以A错、B对。滑行位移应由刹车时的速度确定，因为刹车过程中，其加速度是相同的，根据 $v^2-v_0^2=2ax$，知车速越大，其滑行位移越大，而与其惯性大小无关，所以C对、D错。

答案　BC

例2　如图所示，甲、乙两人在冰面上“拔河”。两人中间位置处有一分界线，约定先使对方过分界线者为赢。若绳子质量不计，冰面可看成光滑，则下列说法正确的是　(　　)



A.甲对绳的拉力与绳对甲的拉力是一对平衡力

B.甲对绳的拉力与乙对绳的拉力是作用力与反作用力

C.若甲的质量比乙大,则甲能赢得“拔河”比赛的胜利

D.若乙收绳的速度比甲快,则乙能赢得“拔河”比赛的胜利

解析 A项中两力是一对作用力与反作用力,A错;B项中两力是一对平衡力,B错;因 $m_甲>m_乙$,由 $a=\frac{F}{m}$ 知 $a_甲<a_乙$,由 $x=\frac{1}{2}at^2$,得 $x_乙>x_甲$,C项正确;由 $x=\frac{1}{2}at^2$ 知 x 与收绳的速度无关,D项错。

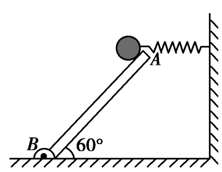
答案 C

考向二 对牛顿第二定律的理解

同向性	公式 $F=ma$ 是矢量式,任一时刻,F 与 a 同向
正比性	m 一定时,$a\propto F$
瞬时性	a 与 F 对应同一时刻,即 a 为某时刻的加速度时,F 为该时刻物体所受合外力
因果性	F 是产生 a 的原因,物体具有加速度是因为物体受到了力
同一性	有三层意思:①加速度 a 相对同一惯性系(一般指地面) ②$F=ma$ 中,F、m、a 对应同一物体或同一系统 ③$F=ma$ 中,各量统一使用国际单位
独立性	①作用于物体上的每一个力各自产生的加速度都遵从牛顿第二定律 ②物体的实际加速度等于每个力产生的加速度的矢量和 ③力、加速度在各个方向上的分量也遵从牛顿第二定律,即 $F_x=ma_x$,$F_y=ma_y$
局限性	①只适用于宏观、低速运动的物体,不适用于微观、高速运动的粒子 ②物体的加速度必须是相对于地球静止或匀速直线运动的参考系(惯性系)而言的

注意 独立性原理是牛顿第二定律正交分解法的基础,根据独立性原理,把物体所受的各力分解在相互垂直的方向,在这两个方向分别列牛顿第二定律方程。这就是牛顿第二定律的正交分解法。

例3 如图所示,质量为 m 的小球用一水平轻弹簧系住,并用倾角为60°的光滑木板 AB 托住,小球恰好处于静止状态,在木板 AB 突然向下撤离的瞬间,小球的加速度为 ( )



A.0

B.大小为 g,方向竖直向下

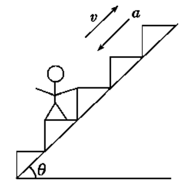
C.大小为 $\sqrt{3}g$,方向垂直木板向下

D.大小为 $2g$,方向垂直木板向下

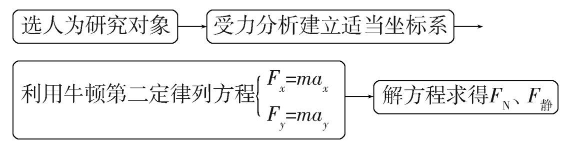
解析 对于小球,开始时受三个力作用(重力、支持力和弹簧的弹力)而处于平衡状态,支持力 $F_N=\frac{mg}{\cos 60°}=2mg$,撤离木板 AB 瞬间,支持力消失,重力和弹力不变,且二者的合力与原支持力等大反向,由牛顿第二定律可得,小球的加速度 $a=2g$,方向垂直木板向下,选D。

答案 D

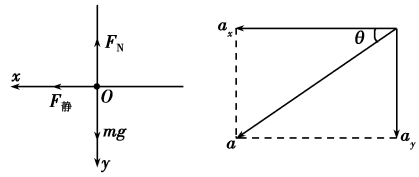
例4 如图所示,质量为 m 的人站在自动扶梯上,扶梯正以加速度 a 向上减速运动,a 与水平方向的夹角为 θ。求人受到的支持力和摩擦力的大小。



解题导引



解析 **解法一** 以人为研究对象,受力分析如图(a)所示,建立如图所示的坐标系,并将加速度分解为水平方向加速度 a_x 和竖直方向加速度 a_y,如图(b)所示,则 $a_x=a\cos\theta$,$a_y=a\sin\theta$。

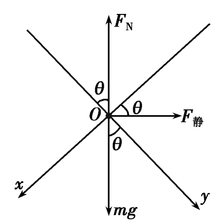


(a) (b)

由牛顿第二定律得 $F_静=ma_x$,$mg-F_N=ma_y$

求得 $F_静=ma\cos\theta$,$F_N=m(g-a\sin\theta)$。

解法二 以人为研究对象,建立如图所示坐标系,并规定正方向。



根据牛顿第二定律得

x 方向 $mg\sin\theta-F_N\sin\theta-F_静\cos\theta=ma$ ①

y 方向 $mg\cos\theta+F_静\sin\theta-F_N\cos\theta=0$ ②

由①②两式可解得 $F_N=m(g-a\sin\theta)$,$F_静=-ma\cos\theta$

$F_静$ 为负值,说明摩擦力的实际方向与假设方向相反,为水平向左。

答案 $m(g-a\sin\theta)$ $ma\cos\theta$

考点二 牛顿运动定律的应用

考向基础

一、应用牛顿第二定律解决的两类问题

1.已知物体的受力情况,求解物体的运动情况

解这类题目,一般是应用牛顿运动定律求出物体的加速度,再根据物体的初始条件,应用运动学公式,求出物体运动的情况。

2.已知物体的运动情况,求解物体的受力情况

解这类题目,一般是应用运动学公式求出物体的加速度,再应用牛顿第二定律求出物体所受的合外力,进而求出物体所受的其他外力。

二、实重和视重

1.实重:物体实际所受的重力,它与物体的运动状态无关。

2.视重:当物体在竖直方向上有加速度时,物体对弹簧测力计的拉力或对台秤的压力将不等于物体的重力。此时弹簧测力计的示数或台秤的示数即为视重。

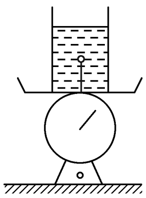
三、超重和失重的应用

此类问题多为定性分析台秤上放物体或弹簧测力计下悬吊物体时的示数的变化。分析此类问题时，要特别注意以下几点：

1. 超重、失重不是物体重力增加或减少了，而是物体对水平支持面的压力或对竖直悬线的拉力变大或变小了，重力的大小是没有变化的，仍为 mg。

2. 超重、失重与物体的速度无关，只取决于物体的加速度方向。

3. 对系统超重、失重的判定不能只看某一物体，要综合分析某一物体的加速运动会不会引起其他物体运动状态的变化。例如台秤上放一盛水容器，一细线拴一木球，线另一端拴于盛水容器的底部，剪断细线，木球加速上升的同时有相同体积的水以相等的加速度在加速下降，综合起来，台秤示数会减小。若不能注意到这一点，会得出相反的错误结论。



4. 在完全失重的状态下，由重力产生的一切物理现象都会消失。如单摆停摆、天平失效、浸没于液体中的物体不再受浮力、水银气压计失效等，但测力的仪器弹簧测力计是可以使用的，因为弹簧测力计是根据 $F=kx$ 制成的，而不是根据重力制成的。

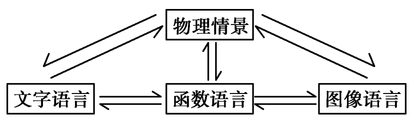
考向突破

考向一　利用图像解答牛顿运动定律问题

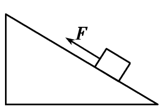
1. 处理图像问题的关键是搞清图像所揭示的物理规律或物理量间的函数关系，全面系统地看懂图像中的"轴"、"线"、"点"、"斜率"、"面积"、"截距"等所表示的物理意义。在运用图像求解问题时，还需要具有将物理现象转化为图像问题的能力。运用图像解题包括两个方面：①用给定的图像解答问题，②根据题意去作图，运用图像去解答问题。

2. 图像语言、函数语言及文字语言构成表达物理过程与物理参数关系的三种语言。要求能够在任意两种语言间相互转换，以便用相对简单的方法解决物理问题。

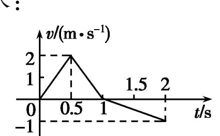
3. 文字语言、函数语言、图像语言与物理情景之间的相互转换，是确立解题方向、迅速明确解题方法的前提。



例 1　如图甲所示，质量 $m=1$ kg 的物块在平行斜面向上的拉力 F 作用下从静止开始沿斜面向上运动，$t=0.5$ s 时撤去拉力，利用速度传感器得到其速度随时间的变化关系图像（$v-t$ 图像）如图乙所示，g 取 10 m/s²，求：



图甲



图乙

(1) 2 s 内物块的位移大小 s 和通过的路程 L；

(2) 沿斜面向上运动的两个阶段加速度大小 a_1、a_2 和拉力大小 F。

解析　(1) 在 2 s 内，由图乙知：

物块沿斜面向上运动的最大距离：$s_1=\frac{1}{2}\times2\times1$ m $=1$ m

物块下滑的距离：$s_2=\frac{1}{2}\times1\times1$ m $=0.5$ m

所以位移大小 $s=s_1-s_2=0.5$ m

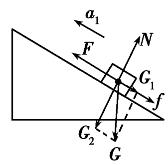
路程 $L=s_1+s_2=1.5$ m

(2) 由图乙知，所求两个阶段加速度的大小

$a_1=4$ m/s²

$a_2=4$ m/s²

设斜面倾角为 θ，斜面对物块的摩擦力为 f，根据牛顿第二定律有



0~0.5 s 内：$F-f-mg\sin\theta=ma_1$

0.5~1 s 内：$f+mg\sin\theta=ma_2$

解得 $F=8$ N

答案　(1) 0.5 m　1.5 m　(2) 4 m/s²　4 m/s²　8 N

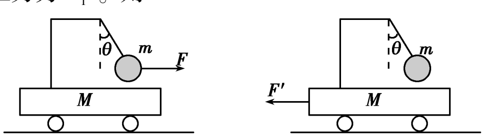
考向二　连接体

一、加速度相同的连接体问题

1. 若求解整体的加速度，可用整体法。把整个系统看做一个研究对象，分析整体受外力情况，再由牛顿第二定律求出加速度。

2. 若求解系统内力，可先用整体法求出整体的加速度，再用隔离法将内力转化成外力，由牛顿第二定律求解。

例 2　如图所示，质量为 M 的小车放在光滑的水平面上，小车上用细线悬吊一质量为 m 的小球，$M>m$，用一力 F 水平向右拉小球，使小球和车一起以加速度 a 向右运动时，细线与竖直方向成 θ 角，细线的拉力为 F_1。若用一力 F' 水平向左拉小车，使小球和其一起以加速度 a' 向左运动时，细线与竖直方向也成 θ 角，细线的拉力为 F_1'。则（　　）



A. $a'=a$，$F_1'=F_1$　　B. $a'>a$，$F_1'=F_1$

C. $a'<a$，$F_1'=F_1$　　D. $a'>a$，$F_1'>F_1$

解析　当用力 F 水平向右拉小球时，以小球为研究对象，

竖直方向有 $F_1\cos\theta=mg$　①

水平方向有 $F-F_1\sin\theta=ma$，

以整体为研究对象有 $F=(m+M)a$，

解得 $a=\frac{m}{M}g\tan\theta$　②

当用力 F' 水平向左拉小车时，以球为研究对象，

竖直方向有 $F_1'\cos\theta=mg$　③

水平方向有 $F_1'\sin\theta=ma'$，

解得 $a'=g\tan\theta$　④

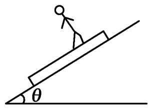
结合两种情况，由①③式有 $F_1=F_1'$；由②④式并结合 $M>m$ 有 $a'>a$。故选项 B 正确

答案　B

二、加速度不同的连接体问题

由于系统内各个物体的加速度不同，一般应采用隔离法。以各个物体分别作为研究对象，对每个研究对象进行受力和运动情况分析，分别应用牛顿第二定律建立方程，并注意应用各个物体的相互作用关系，联立求解。

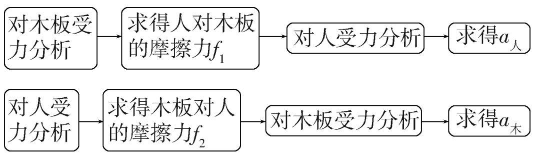
例3　如图所示,质量为 M 的木板可沿倾角为 θ 的光滑斜面下滑,木板上站着一个质量为 m 的人,求:



(1)为了保持木板与斜面相对静止,人运动的加速度是多少?

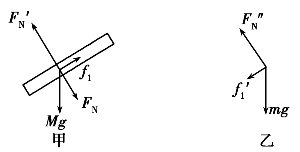
(2)为了保持人与斜面相对静止,木板运动的加速度是多少?

解题导引



解析　(1)为了使木板与斜面保持相对静止,必须满足木板在斜面方向上的合力为零,所以人施于木板的摩擦力应沿斜面向上,故人应加速向下跑。现分别对木板和人应用牛顿第二定律。

对木板进行受力分析,如图甲所示,



沿斜面方向有:$Mg\sin\theta-f_1=0$,

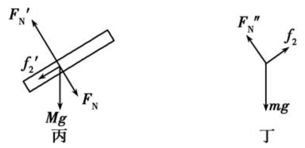
对人进行受力分析,如图乙所示,

$mg\sin\theta+f_1'=ma_人$($a_人$ 为人相对斜面的加速度),

$f_1=f_1'$

解得 $a_人=\dfrac{M+m}{m}g\sin\theta$,方向沿斜面向下。

(2)为了使人与斜面保持相对静止,必须满足人在木板上所受合力为零,所以木板施于人的摩擦力应沿斜面向上,故人相对木板向上跑,木板相对斜面向下滑,但人相对斜面静止不动。设木板相对斜面的加速度为 $a_木$,现分别对木板和人进行受力分析,由牛顿第二定律有:



对木板:$Mg\sin\theta+f_2'=Ma_木$,

对人:$mg\sin\theta=f_2$,

$f_2=f_2'$

解得 $a_木=\dfrac{M+m}{M}g\sin\theta$,方向沿斜面向下,即人相对木板向上加速跑动,而木板沿斜面向下滑动,此时人相对斜面静止不动。

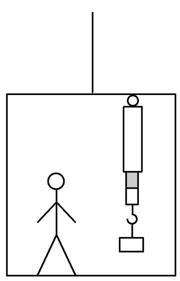
答案　见解析

考点集训

对应学生用书起始页码32

考点一　牛顿运动定律

1.(2020届内蒙古包头五校联考,5)(多选)电梯的顶部挂一个弹簧秤,秤下端挂了一个重物,电梯匀速直线运动时,弹簧秤的示数为10 N,在某时刻电梯中的人观察到弹簧秤的示数变为6 N,关于电梯的运动(如图所示),以下说法正确的是(g 取10 m/s²)　(　　)



A.电梯可能向上加速运动,加速度大小为4 m/s²

B.电梯可能向下加速运动,加速度大小为4 m/s²

C.电梯可能向上减速运动,加速度大小为4 m/s²

D.电梯可能向下减速运动,加速度大小为4 m/s²

答案　**BC**　本题考查了运用牛顿第二定律解析超重、失重现象,体现了科学思维中的科学推理要素。电梯匀速直线运动时,弹簧秤的示数为10 N,知重物的重力等于10 N,在某时刻电梯中的人观察到弹簧秤的示数变为6 N,可知电梯处于失重状态,加速度向下,对重物根据牛顿第二定律有 $mg-F=ma$,解得 $a=4\ m/s^2$,方向竖直向下,则电梯的加速度大小为4 m/s²,方向竖直向下,电梯可能向下做加速运动,也可能向上做减速运动,故B、C正确,A、D错误。

2.远在春秋战国时代(公元前772—前221年),我国杰出学者墨子认为:"力,刑之所以奋也。""刑"同"形",即物体;"奋,动也",即开始运动或运动加快,对墨子这句关于力和运动观点的理解,下列说法不正确的是　(　　)

A.墨子认为力是改变物体运动状态的原因

B.墨子认为力是使物体产生加速度的原因

C.此观点与亚里士多德关于力和运动的观点基本相同

D.此观点与牛顿关于力和运动的观点基本相同

答案　**C**　"力,刑之所以奋也。"是说力是使物体运动的原因或力是改变物体运动状态的原因,使物体产生加速度的原因,此观点与牛顿关于力和运动的观点基本相同。而亚里士多德认为有力作用在物体上,物体才能运动;没有力的作用,物体就要静止。故C错误,A、B、D正确。

3.(2020届东北三校联考,1)一个质量为2 kg的物体,在4个共点力作用下处于平衡状态。现同时撤去大小分别为8 N和12 N的两个力,其余的力保持不变,关于此后该物体运动的说法正确的是(g 取10 m/s²)　(　　)

A.一定做匀变速运动,加速度大小可能等于重力加速度的大小

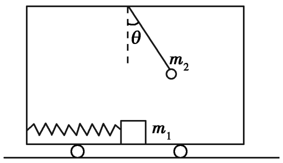
B.一定做匀变速直线运动,加速度大小可能是5 m/s²

C.可能做匀减速直线运动,加速度大小是1.5 m/s²

D.可能做匀速圆周运动,向心加速度大小是6 m/s²

答案　**A**　本题考查了牛顿第二定律中力的瞬时作用效果,体现了科学思维中科学推理要素。物体在4个共点力作用下处于平衡状态,根据平衡的条件可知其中任意两个力的合力与另外两个力的合力大小相等、方向相反、作用在同一条直线上。所以撤去两个力之后另外两个力的合力为恒力,所以物体一定做匀变速运动,可能为匀变速直线运动,也可能为匀变速曲线运动。因大小为8 N与12 N两个力的合力的大小范围为 $4\ N\le F_合\le 20\ N$,则另外两个力的合力的大小范围为 $4\ N\le F_合'\le 20\ N$,再由牛顿第二定律可知物体的加速度大小范围为 $2\ m/s^2\le a\le 10\ m/s^2$,所以A对,B、C、D错。

4.(2018 山西五市联考,8)(多选)在水平地面上运动的小车车厢底部有一质量为 m_1 的木块,木块和车厢通过一根轻质弹簧相连接,弹簧的劲度系数为 k,在车厢的顶部用一根细线悬挂一质量为 m_2 的小球。某段时间内发现细线与竖直方向的夹角为 θ,在这段时间内木块与车厢保持相对静止,如图所示。不计木块与车厢底部的摩擦力,则下列说法正确的是 (　　)



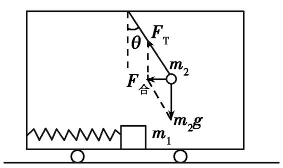
A.小车可能向右做减速运动

B.小车可能向右做加速运动

C.在这段时间内弹簧的伸长量为 $\frac{m_1g}{k}\tan\theta$

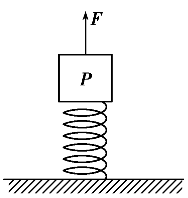
D.在这段时间内弹簧的压缩量为 $\frac{m_1g}{k}\tan\theta$

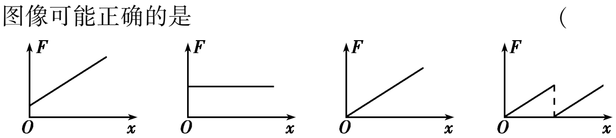
答案　AC　本题考查牛顿第二定律,力的合成与分解的运用。对小球受力分析如图所示,由几何关系知,$F_合=m_2g\tan\theta$,由牛顿第二定律知,$a=\frac{F_合}{m_2}=g\tan\theta$,小车向左加速或向右减速运动,A 项正确、B 项错误;对木块受力分析,受重力、支持力和弹簧弹力,合力等于弹簧弹力,根据牛顿第二定律 $F_弹=m_1g\tan\theta$,木块受向左的弹力,结合胡克定律可知,弹簧的伸长量为 $\frac{m_1g}{k}\tan\theta$,C 项正确、D 项错误。



考点二　牛顿运动定律的应用

1.(2018 课标Ⅰ,15,6 分)如图,轻弹簧的下端固定在水平桌面上,上端放有物块 P,系统处于静止状态。现用一竖直向上的力 F 作用在 P 上,使其向上做匀加速直线运动。以 x 表示 P 离开静止位置的位移,在弹簧恢复原长前,下列表示 F 和 x 之间关系的图像可能正确的是 (　　)





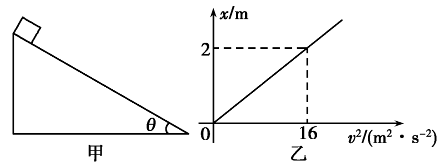
A　　B　　C　　D

答案　A　设系统静止时弹簧压缩量为 x_0,由胡克定律和平衡条件得 $mg=kx_0$。力 F 作用在 P 上后,物块受重力、弹力和 F,向上做匀加速直线运动,由牛顿第二定律得,$F+k(x_0-x)-mg=ma$。联立以上两式得 $F=kx+ma$,所以 $F-x$ 图像中图线是一条不过原点的倾斜直线,故 A 正确。

易错点拨　注意胡克定律中形变量的含义

胡克定律中的形变量指的是压缩量或伸长量。本题中 x 表示 P 离开静止位置的位移,此时的形变量为 x_0-x 而不是 x。

2.(2018 安徽 A10 联盟联考)如图甲所示,一个可视为质点的物块从倾角为 $\theta=30°$的固定斜面顶端由静止开始下滑,从此时开始计时,物块的速度为 v,到斜面顶端的距离为 x,其 $x-v^2$ 图像如图乙所示。已知 $g=10\ m/s^2$,斜面足够长,不计空气阻力,下列说法正确的是 (　　)



甲　　乙

A.物块的加速度大小为 8 m/s^2

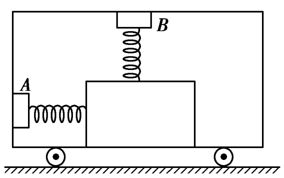
B.物块在 $t=1$ s 时的速度大小为 8 m/s

C.物块在 $t=4$ s 时处于斜面上 $x=24$ m 的位置

D.物块与斜面间的动摩擦因数为 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{15}$

答案　D　物块由静止沿斜面做匀加速直线运动,有 $v^2=2ax$,再结合图乙可得加速度为 $a=4\ m/s^2$,由 $v=at$ 得 $t=1$ s 时物块速度大小为 4 m/s,A、B 错误;由 $x=\frac{1}{2}at^2$ 知 $t=4$ s 时,$x=32$ m,C 错误;由牛顿第二定律有:$mg\sin 30°-\mu mg\cos 30°=ma$,解得 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{15}$,D 正确。

3.(2020 届陕西西安模拟,10)如图所示,水平地面上有一车厢,车厢内固定的平台通过相同的弹簧把相同的物块 A、B 压在竖直侧壁和水平的顶板上,已知 A、B 与接触面间的动摩擦因数均为 μ,车厢静止时,两弹簧长度相同,A 恰好不下滑,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度为 g。现使车厢沿水平方向加速运动,为保证 A、B 仍相对车厢静止,则 (　　)



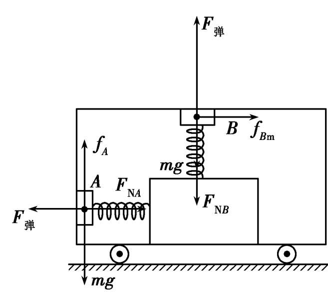
A.速度可能向左,加速度可大于$(1+\mu)g$

B.加速度一定向右,不能超过$(1-\mu)g$

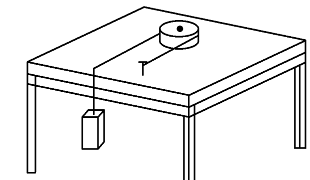
C.加速度一定向左,不能超过μg

D.加速度一定向左,不能超过$(1-\mu)g$

答案　B　本题考查了力的瞬时作用效果,体现了科学思维中科学推理要素。开始 A 恰好不下滑,对 A 分析有 $f_A=mg=\mu F_{NA}=\mu F_弹$,解得 $F_弹=\frac{mg}{\mu}$,此时弹簧处于压缩状态。当车厢做加速运动时,为了保证 A 不下滑,侧壁对 A 的支持力必须大于等于$\frac{mg}{\mu}$,根据牛顿第二定律可知加速度方向一定向右。对 B 分析,有 $f_{Bm}=\mu F_{NB}=\mu(F_弹-mg)\geq ma$,解得 $a\leq(1-\mu)g$,故选项 B 正确,A、C、D 错误。



4.质量为 M 的皮带轮工件放置在水平桌面上,一细绳绕过皮带轮的皮带槽,一端系一质量为 m 的重物,另一端固定在桌面上,如图所示。工件与桌面、绳之间以及绳与桌面边缘之间的摩擦都忽略不计,桌面上绳与桌面平行,则重物下落过程中,工件运动的加速度为 (　　)



A. $\frac{2mg}{M+4m}$　B. $\frac{2mg}{M+2m}$　C. $\frac{mg}{2M}$　D. $\frac{mg}{M+m}$

答案 A　本题考查了牛顿第二定律,体现了物理观念中运动与相互作用要素。相等时间内重物下落的距离是工件运动距离的 2 倍,因此,重物的加速度也是工件加速度的 2 倍,设绳上的拉力为 F,根据牛顿第二定律有 $\frac{mg-F}{m}=2\times\frac{2F}{M}$,解得 $F=\frac{Mmg}{M+4m}$,工件加速度为 $a=\frac{2F}{M}=\frac{2mg}{M+4m}$,所以 A 正确。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧

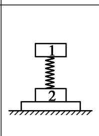
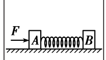
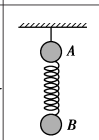
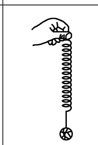
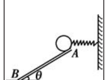
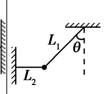
对应学生用书起始页码 33

方法 1　瞬时性问题的处理

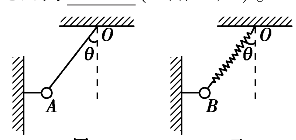
1.物体所受的外力 F 与其所产生的加速度 a 具有瞬时对应关系,二者总是同时产生、同时消失、同时变化。具体可简化为以下两种模型:

- 两种模型
  - 轻绳、轻杆和接触面:不发生明显形变就能产生弹力,剪断或脱离后,不需要时间恢复形变,弹力立即消失或改变,一般题目中所给的轻绳、轻杆和接触面在不加特殊说明时,均可按此模型处理
  - 弹簧、蹦床和橡皮条:当弹簧的两端与物体相连(即两端为固定端)时,由于物体有惯性,弹簧的长度不会发生突变,所以在瞬时问题中,其弹力的大小认为是不变的,即此时弹簧的弹力不会发生突变
- 两个关键
  - 明确属于哪种模型
  - 分析瞬时前、后的受力情况和运动情况
- 四个步骤
  - 第一步:分析原来物体的受力情况
  - 第二步:分析物体在突变时的受力
  - 第三步:由牛顿第二定律列方程
  - 第四步:求出瞬时加速度,并讨论其合理性

2.与轻弹簧相关的瞬时性问题常见情景图例

项目	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	情景 6
图示						
说明	两个物体处于平衡状态,突然抽出下方木板的瞬间	在推力 F 作用下,A、B 共同以加速度 a 做匀加速直线运动,突然撤去推力 F 的瞬间	两小球 A、B 用轻弹簧连接,通过细线悬挂于天花板上,处于静止状态,剪断细线的瞬间	用手提一轻弹簧,弹簧下端挂一个金属球,在将整个装置匀加速上提的过程中,手突然停止不动的瞬间	小球用水平弹簧系住,并且用倾角为 θ 的光滑板 AB 托着,当板 AB 突然向下撤离的瞬间	(1)剪断 L_2 的瞬间;(2)如果 L_1 换成弹簧,剪断 L_2 的瞬间

例 1　如图甲、乙所示,细线均不可伸长,两小球均处于平衡状态且质量相同。如果突然把两水平细线剪断,剪断瞬间小球 A 的加速度的大小为______,方向为______;小球 B 的加速度的大小为______,方向为______;剪断瞬间图甲中倾斜细线 OA 与图乙中弹簧的拉力之比为______(θ 角已知)。



甲　　乙

解题导引

A 球 —刚性绳弹力特点→ 判定合力的方向 → 加速度大小和方向

B 球 —弹簧弹力特点→ 判定合力的方向 → 加速度大小和方向

解析　设两球质量均为 m,剪断水平细线瞬间,对 A 球受力分析,如图(a)所示,球 A 将沿圆弧摆下,故剪断水平细线瞬间,小球 A 的加速度 a_1 方向沿圆周的切线方向向下,即垂直倾斜细线 OA 向下。

则有 $F_{T1}=mg\cos\theta$;$F_1=mg\sin\theta=ma_1$,得 $a_1=g\sin\theta$。

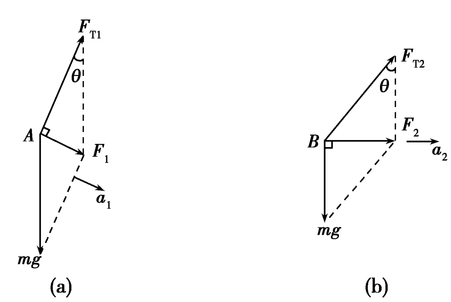
水平细线剪断瞬间,B 球所受重力 mg 和弹簧弹力 F_{T2} 不变,小球 B 的加速度 a_2 方向水平向右,如图(b)所示,则

$F_{T2}=\frac{mg}{\cos\theta}$,$F_2=mg\tan\theta=ma_2$,

所以 $a_2=g\tan\theta$。

甲图中倾斜细线 OA 与乙图中弹簧的拉力之比为

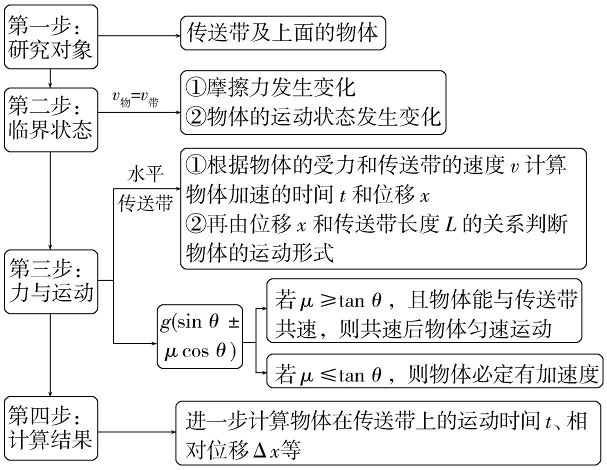
$\frac{F_{T1}}{F_{T2}}=\cos^2\theta$。



答案　见解析

方法 2　传送带问题的处理

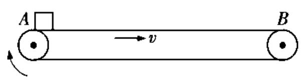
处理传送带问题的一般步骤



1.水平传送带模型问题

处理水平放置的传送带问题，首先应对放在传送带上的物体进行受力分析，分清物体所受摩擦力是阻力还是动力；然后对物体进行运动状态分析，即对静态→动态→终态进行分析和判断，对其全过程做出合理分析、推断，进而采用有关物理规律求解。这类问题可分为：①运动学型；②动力学型；③能量守恒型；④图像型。

例 2　水平传送带被广泛地应用于机场和火车站，如图所示为一水平传送带装置示意图。紧绷的传送带 AB 始终保持恒定的速率 $v=1\ \text{m/s}$ 运行，一质量为 $m=4\ \text{kg}$ 的行李无初速度地放在 A 处，传送带对行李的滑动摩擦力使行李开始做匀加速直线运动，随后行李又以与传送带相等的速率做匀速直线运动。设行李与传送带之间的动摩擦因数 $\mu=0.1$，A、B 间的距离 $L=2\ \text{m}$，g 取 $10\ \text{m/s}^2$。

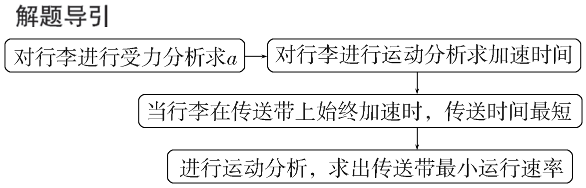


(1)求行李刚开始运动时所受滑动摩擦力的大小与加速度的大小；

(2)求行李做匀加速直线运动的时间；

(3)如果提高传送带的运行速率，行李就能被较快地传送到 B 处，求行李从 A 处传送到 B 处的最短时间和传送带对应的最小运行速率。

解题导引



解析　(1)滑动摩擦力 $F_f=\mu mg=0.1\times4\times10\ \text{N}=4\ \text{N}$，加速度 $a=\mu g=0.1\times10\ \text{m/s}^2=1\ \text{m/s}^2$。

(2)行李达到与传送带相同速率后不再加速，则

$v=at_1$，解得 $t_1=\dfrac{v}{a}=\dfrac{1}{1}\ \text{s}=1\ \text{s}$。

(3)行李始终匀加速运行时传送时间最短，加速度仍为 $a=1\ \text{m/s}^2$，当行李到达右端时，有

$v_{\min}^2=2aL$，解得 $v_{\min}=\sqrt{2aL}=\sqrt{2\times1\times2}\ \text{m/s}=2\ \text{m/s}$，

所以传送带对应的最小运行速率为 2 m/s。

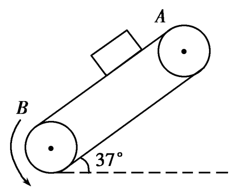
行李最短运行时间由 $v_{\min}=a\times t_{\min}$，得 $t_{\min}=\dfrac{v_{\min}}{a}=\dfrac{2}{1}\ \text{s}=2\ \text{s}$。

答案　(1)4 N　1 m/s²　(2)1 s　(3)2 s　2 m/s

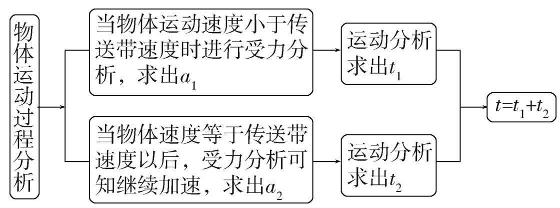
2.倾斜传送带模型问题

求解的关键在于认真分析物体与传送带的相对运动情况，从而确定是否受到滑动摩擦力作用。如果受到滑动摩擦力作用应进一步确定其大小和方向，然后根据物体的受力情况确定物体的运动情况。当物体速度与传送带速度相等时物体所受的摩擦力有可能发生突变。

例 3　如图所示，传送带与水平地面夹角 $\theta=37°$，A 到 B 长度 L 为 16 m，传送带以 10 m/s 的速率逆时针转动。在传送带上端 A 处无初速度地放一个质量为 0.5 kg 的物体，它与传送带之间的动摩擦因数为 0.5。求物体从 A 运动到 B 所需时间是多少？($\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$)



解题导引

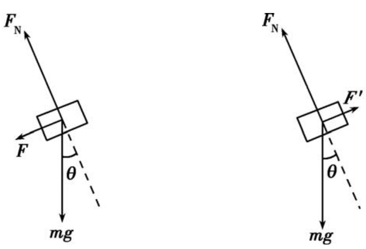


解析　物体放在传送带上后，开始阶段，由于传送带的速度大于物体的速度，传送带给物体一个沿传送带向下的滑动摩擦力 F，物体受力情况如图甲所示。物体由静止开始加速，由牛顿第二定律有 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$，

得 $a_1=10\times(0.6+0.5\times0.8)\ \text{m/s}^2=10\ \text{m/s}^2$。

物体加速至与传送带速度相等需要的时间

$t_1=\dfrac{v}{a_1}=\dfrac{10}{10}\ \text{s}=1\ \text{s}$，$t_1$ 时间内位移 $x=\dfrac{1}{2}a_1t_1^2=5\ \text{m}$。



甲　　　　乙

由于 $\mu<\tan\theta$，物体在重力作用下将继续加速运动，当物体速度大于传送带速度时，传送带给物体一沿传送带向上的滑动摩擦力 F'。此时物体受力情况如图乙所示，由牛顿第二定律有 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$，得 $a_2=2\ \text{m/s}^2$。

设后一阶段物体滑至底端所用的时间为 t_2，由 $L-x=vt_2+\dfrac{1}{2}a_2t_2^2$，解得 $t_2=1\ \text{s}$，$t_2=-11\ \text{s}$(舍去)。

所以物体由 A 到 B 的时间 $t=t_1+t_2=2\ \text{s}$。

答案　2 s

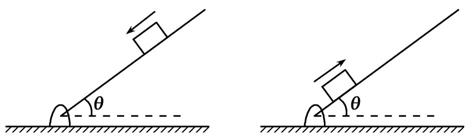
方法 3　解答连接体中临界极值问题的方法

1.极限法：把物理问题(或过程)推向极端，从而使临界现象(或状态)暴露出来，以达到正确解决问题的目的。

2.假设法：临界问题存在多种可能，特别是非此即彼两种可能时，或变化过程中可能出现临界条件，也可能不出现临界条件时，往往用假设法解决问题。

3.数学法:将物理过程转化为数学公式,根据数学表达式解出临界条件。

例 4 如图所示,木板与水平地面间的夹角 θ 可以随意改变,当 $\theta=30°$时,可视为质点的一小木块恰好能沿着木板匀速下滑。若让该小木块从木板的底端以大小恒定的初速率 v_0 沿木板向上运动,随着 θ 的改变,小木块沿木板向上滑行的距离 x 将发生变化,重力加速度为 g。



(1)求小木块与木板间的动摩擦因数;

(2)当 θ 角为何值时,小木块沿木板向上滑行的距离最小,并求出此最小值。

解析 本题考查了牛顿第二定律,体现了科学思维中科学推理要素。

(1)当 $\theta=30°$时,木块处于平衡状态,对木块受力分析:

$mg\sin\theta=\mu F_N$

$F_N-mg\cos\theta=0$

解得 $\mu=\tan\theta=\tan 30°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$。

(2)当 θ 变化时,设沿斜面向上为正方向,木块的加速度为 a,则 $-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$

由 $0-v_0^2=2ax$ 得

$$x=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}=\frac{v_0^2}{2g\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+\alpha)}$$

其中 $\tan\alpha=\mu$,则当 $\alpha+\theta=90°$时 x 最小,即 $\theta=60°$

所以 x 最小值为 $x_{min}=\dfrac{v_0^2}{2g(\sin 60°+\mu\cos 60°)}=\dfrac{\sqrt{3}v_0^2}{4g}$

答案 (1)$\dfrac{\sqrt{3}}{3}$ (2)$60°$ $\dfrac{\sqrt{3}v_0^2}{4g}$

方法 4 滑块—滑板模型问题

1.模型特点

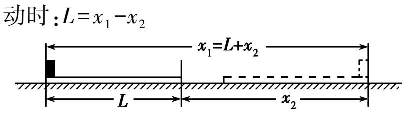
涉及两个物体,并且物体间存在相对滑动。

2.两种位移关系

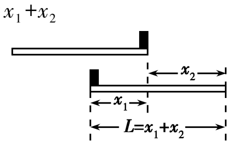
滑块由滑板的一端运动到另一端的过程中,若滑块和滑板同向运动,位移大小之差等于板长;反向运动时,位移大小之和等于板长。

设板长为 L,滑块位移大小为 x_1,滑板位移大小为 x_2

同向运动时:$L=x_1-x_2$



反向运动时:$L=x_1+x_2$



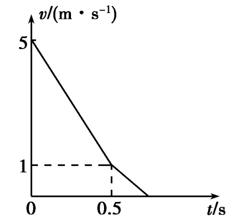
3.解题步骤

第一步:审题建模 → 弄清题目情景,分析清楚每个物体的受力情况,运动情况,清楚题给条件和所求

第二步:建立方程 → 根据牛顿运动定律准确求出各运动过程的加速度(两过程接连处的加速度可能突变)

第三步:明确关系 → 找出物体之间的位移(路程)关系或速度关系是解题的突破口,上一过程的末速度是下一过程的初速度,这是两过程的联系纽带

例 5 一长木板在水平地面上运动,在 $t=0$ 时刻将一相对于地面静止的物块轻放到木板上,以后木板运动的速度-时间图像如图所示。已知物块与木板的质量相等,物块与木板间及木板与地面间均有摩擦,物块与木板间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力,且物块始终在木板上。取重力加速度的大小 $g=10\ m/s^2$,求:



(1)物块与木板间、木板与地面间的动摩擦因数;

(2)从 $t=0$ 时刻到物块与木板均停止运动时,物块相对于木板的位移的大小。

解题导引

第一步:审题建模 → 由图像知在0~0.5s内,摩擦力使木板减速物块加速,之后二者以共同速度减速

第二步:建立方程 → 利用牛顿第二定律对各运动过程分析

第三步:明确关系 → 达共速时二者的位移之差为物块相对于木板的位移

解析 (1)从 $t=0$ 时开始,木板与物块之间的摩擦力使物块加速,使木板减速,此过程一直持续到物块和木板具有共同速度为止。

由图可知,在 $t_1=0.5$ s 时,物块和木板的速度相同。设 $t=0$ 到 $t=t_1$ 时间间隔内,物块和木板的加速度大小分别为 a_1 和 a_2,则

$a_1=\dfrac{v_1}{t_1}$ ①

$a_2=\dfrac{v_0-v_1}{t_1}$ ②

式中 $v_0=5$ m/s、$v_1=1$ m/s 分别为木板在 $t=0$、$t=t_1$ 时速度的大小。

设物块和木板的质量为 m,物块和木板间、木板与地面间的动摩擦因数分别为 μ_1、μ_2,由牛顿第二定律得

$\mu_1 mg=ma_1$ ③

$(\mu_1+2\mu_2)mg=ma_2$ ④

联立①②③④式得

$\mu_1=0.20$ ⑤

$\mu_2=0.30$ ⑥

(2)在 t_1 时刻后,地面对木板的摩擦力阻碍木板运动,物块与木板之间的摩擦力改变方向。设物块与木板之间的摩擦力大小为 f,物块和木板的加速度大小分别为 a_1' 和 a_2',则由牛顿第二定律得

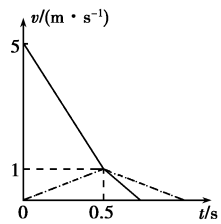
$f=ma_1'$ ⑦

$2\mu_2 mg-f=ma_2'$ ⑧

假设 $f<\mu_1 mg$,则 $a_1'=a_2'$;由⑤⑥⑦⑧式得 $f=\mu_2 mg>\mu_1 mg$,与假设矛盾。故

$f=\mu_1 mg$ ⑨

由⑦⑨式知,物块加速度的大小 a_1' 等于 a_1;物块的 $v-t$ 图像如图中点划线所示。



由运动学公式可推知,物块和木板相对于地面的运动距离分别为

$s_1=2\times\frac{v_1^2}{2a_1}$　⑩

$s_2=\frac{v_0+v_1}{2}t_1+\frac{v_1^2}{2a_2'}$　⑪

物块相对于木板的位移的大小为

$s=s_2-s_1$　⑫

联立①⑤⑥⑧⑨⑩⑪⑫式得

$s=1.125\ \text{m}$　⑬

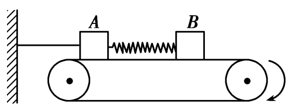
答案　(1)0.20　0.30　(2)1.125 m

方法集训

对应学生用书起始页码 36

方法 1　瞬时性问题的处理

1.如图所示,两个质量分别为 m_1、m_2 的物块 A 和 B 通过一轻弹簧连接在一起并放置于水平传送带上,水平轻绳一端连接 A,另一端固定在墙上,A、B 与传送带间动摩擦因数均为 μ。传送带顺时针方向转动,系统达到稳定后,突然剪断轻绳的瞬间,设 A、B 的加速度大小分别为 a_A 和 a_B,(弹簧在弹性限度内,重力加速度为 g)则　(　　)

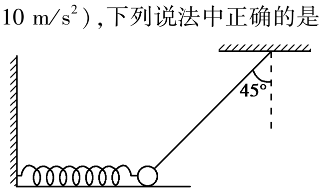


A.$a_A=\mu\left(1+\frac{m_2}{m_1}\right)g,a_B=\mu g$　B.$a_A=\mu g,a_B=0$

C.$a_A=\mu\left(1+\frac{m_2}{m_1}\right)g,a_B=0$　D.$a_A=\mu g,a_B=\mu g$

答案　**C**　对物块 B 分析,摩擦力与弹簧弹力平衡,有:$\mu m_2g=kx$,得 $x=\frac{\mu m_2g}{k}$。以两个物块组成的整体为研究对象,则绳子的拉力 $T=\mu(m_1+m_2)g$。突然剪断轻绳的瞬间,绳子的拉力减小为 0,而弹簧的弹力不变,则 A 受到的合外力与 T 大小相等,方向相反,则:$a_A=\frac{T}{m_1}=\frac{\mu(m_1+m_2)g}{m_1}$,$B$ 在水平方向仍然受到弹簧的弹力和传送带的摩擦力,合外力不变,仍然等于 0,所以 B 的加速度仍然等于 0。故选项 C 正确。

2.(2019 贵州铜仁模拟)(多选)如图所示,在动摩擦因数 $\mu=0.2$ 的水平面上有一个质量 $m=1$ kg 的小球,小球与水平轻弹簧及与竖直方向成 $\theta=45°$角的不可伸长的轻绳的一端相连,此时小球处于静止状态,且水平面对小球的弹力恰好为零。在剪断轻绳的瞬间(g 取 10 m/s²),下列说法中正确的是　(　　)



A.小球受力个数不变

B.小球立即向左运动,且 $a=8\ \text{m/s}^2$

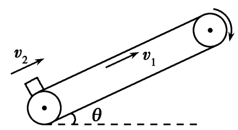
C.小球立即向左运动,且 $a=10\ \text{m/s}^2$

D.若剪断的是弹簧,则剪断瞬间小球加速度为零

答案　**BD**　在剪断轻绳前,小球受重力、绳子的拉力以及弹簧的弹力处于平衡状态,根据共点力平衡得,弹簧的弹力 $F=mg\tan 45°=10\times1\ \text{N}=10\ \text{N}$,剪断轻绳的瞬间,弹簧的弹力仍然为 10 N,小球此时受重力、支持力、弹簧弹力和摩擦力四个力作用,小球的受力个数发生改变,故 A 错误;小球所受的最大静摩擦力为 $F_f=\mu mg=0.2\times10\ \text{N}=2\ \text{N}$,根据牛顿第二定律得小球的加速度为 $a=\frac{F-F_f}{m}=\frac{10-2}{1}\ \text{m/s}^2=8\ \text{m/s}^2$,合力方向向左,所以向左运动,故 B 正确,C 错误;剪断弹簧的瞬间,轻绳对小球的拉力瞬间为零,此时小球所受的合力为零,则小球的加速度为零,故 D 正确。

方法 2　传送带问题的处理

1.(2018 山西考前测试)如图所示,倾角为 $\theta=37°$的传送带以速度 $v_1=2$ m/s 顺时针匀速转动。将一小物块以 $v_2=8$ m/s 的速度从传送带的底端滑上传送带。已知小物块与传送带间的动摩擦因数 $\mu=0.5$,传送带足够长,取 $\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$,$g=10\ \text{m/s}^2$,下列说法正确的是　(　　)



A.小物块运动的加速度大小恒为 10 m/s²

B.小物块向上运动的时间为 0.6 s

C.小物块向上滑行的最远距离为 4 m

D.小物块最终将随传送带一起向上匀速运动

答案　**C**　小物块的运动分两个阶段:

因初始时 $v_2>v_1$,则开始一段时间小物块相对传送带向上运动,其所受滑动摩擦力沿传送带向下,由牛顿第二定律有:

$ma_1=mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$

得 $a_1=10\ \text{m/s}^2$

因 $\mu mg\cos\theta<mg\sin\theta$,则小物块速度与传送带速度相同之后,小物块将相对传送带向下运动,其所受滑动摩擦力沿传送带向上,由牛顿第二定律有:

$ma_2=mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta$

得 $a_2=2\ \text{m/s}^2$

所以 A 选项错误。

两段运动的时间分别为:

$t_1=\frac{v_2-v_1}{a_1}=0.6\ \text{s}$

$t_2=\frac{v_1}{a_2}=1.0\ \text{s}$

所以向上运动的时间为 $t_1+t_2=1.6$ s,B 选项错。

两段运动的位移分别为:

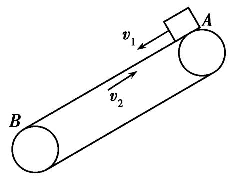
$s_1=\frac{v_2+v_1}{2}\cdot t_1=3\ \text{m}$

$s_2=\frac{v_1}{2}\cdot t_2=1\ \text{m}$

向上滑行最远距离 $s=s_1+s_2=4$ m,所以选项 C 正确。

由以上分析可知,小物块先向上减速到零,再向下加速,D 选项错。

2.(**2020 届四川广元一诊**)(多选)如图所示,倾斜的传送带顺时针匀速转动,一物块从传送带上端 A 滑上传送带,滑上时速率为 v_1,传送带的速率为 v_2,且 $v_2>v_1$,不计空气阻力,动摩擦因数一定,关于物块离开传送带的速率 v 和位置,下面可能的是 ( )



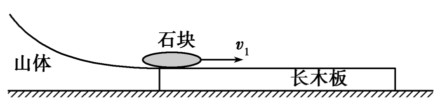
A.从下端 B 离开,$v>v_1$ B.从下端 B 离开,$v<v_1$

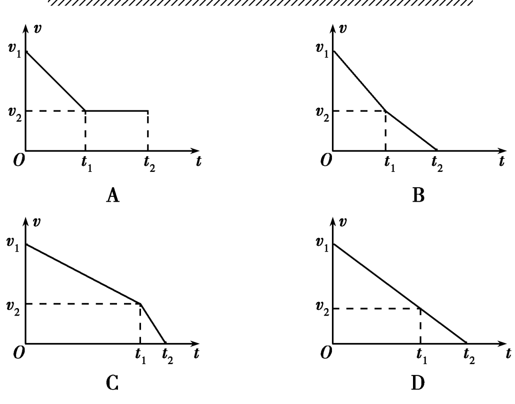
C.从上端 A 离开,$v=v_1$ D.从上端 A 离开,$v<v_1$

答案 ABC 本题考查了运用牛顿第二定律处理倾斜传送带问题,体现了科学思维中的科学论证要素。物块从 A 端滑上传送带,在传送带上必先相对传送带向下运动,由于不确定物块与传送带间的摩擦力和物块的重力沿传送带的分力的大小关系及传送带的长度,若能从 A 端离开,由运动的对称性可知,必有 $v=v_1$,即选项 C 正确,D 错误;若从 B 端离开,当摩擦力大于重力沿传送带的分力时,则有 $v<v_1$,选项 B 正确;当摩擦力小于重力沿传送带的分力时,则有 $v>v_1$,选项 A 正确;当摩擦力和重力沿传送带的分力相等时,物块一直做匀速直线运动,$v=v_1$,故选项 A、B、C 正确。

方法 3 解答连接体中临界极值问题的方法

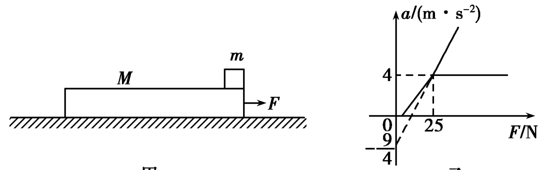
1.(**2020 届河南南阳联考,7**)(多选)如图所示,在山体下的水平地面上有一静止长木板,某次山体滑坡,有石块从山坡上滑下后,恰好以速度 v_1 滑上长木板,石块与长木板、长木板与水平地面之间都存在摩擦。设最大静摩擦力大小等于滑动摩擦力的大小,且石块始终未滑出长木板。下面给出了石块在长木板上滑行的 $v-t$ 图像,其中可能正确的是 ( )





答案 BD 本题考查了运用牛顿第二定律解决连接体问题及 $v-t$ 图像,体现了科学思维中的科学论证要素。由于石块与长木板、长木板与地面之间都有摩擦,故石块不可能做匀速直线运动,故选项 A 错误;若石块对长木板向右的滑动摩擦力小于地面对长木板的最大静摩擦力,则长木板将静止不动,石块将在长木板上做匀减速直线运动,故选项 D 正确;设石块与长木板之间的动摩擦因数为 μ_1,长木板与地面之间的动摩擦因数为 μ_2,石块的质量为 m,长木板的质量为 M,当 $\mu_1 mg>\mu_2(M+m)g$ 时,最终石块与长木板将一起做匀减速直线运动,此时的加速度为 $\mu_2 g$,由 $\mu_1 mg>\mu_2(M+m)g$,可得 $\mu_1 mg>\mu_2 mg$,即石块刚开始的加速度大于石块与长木板一起减速时的加速度,即 $\mu_1 g>\mu_2 g$,也就是说图线的斜率将变小,故选项 C 错误,B 正确。

2.(**2018 陕西西安模拟,17**)如图甲所示,有一块木板静止在足够长的粗糙水平面上,木板质量为 $M=4$ kg,长为 $L=1.4$ m;木板右端放一小滑块,小滑块质量为 $m=1$ kg,可视为质点。现用水平恒力 F 作用在木板右端,恒力 F 取不同数值时,小滑块和木板的加速度分别对应不同数值,两者的 $a-F$ 图像如图乙所示,取 $g=10$ m/s^2。求:



甲 乙

(1)小滑块与木板间的动摩擦因数,以及木板与地面间的动摩擦因数。

(2)若水平恒力 $F=27.8$ N,且始终作用在木板上,当小滑块从木板上滑落时,经历的时间。

答案 (1)0.4 0.1 (2)2 s

解析 (1)由图乙可知,当恒力 $F\geqslant 25$ N 时,小滑块与木板将出现相对滑动,以小滑块为研究对象,根据牛顿第二定律得,$\mu_1 mg=ma_1$

代入数据解得 $\mu_1=0.4$

以木板为研究对象,根据牛顿第二定律有

$F-\mu_1 mg-\mu_2(m+M)g=Ma_2$

则 $a_2=\frac{1}{M}F-\frac{\mu_1 mg+\mu_2(m+M)g}{M}$

结合图像可得,$-\frac{\mu_1 mg+\mu_2(m+M)g}{M}=-\frac{9}{4}$

解得 $\mu_2=0.1$

(2)当水平恒力 $F=27.8$ N 时,设小滑块在木板上滑动的时间为 t

由(1)知滑块的加速度为 $a_1=\mu_1 g=4$ m/s^2

而滑块在时间 t 内的位移为 $s_1=\frac{1}{2}a_1t^2$

由(1)可知木板的加速度为 $a_2=\frac{1}{M}F-\frac{\mu_1 mg+\mu_2(m+M)g}{M}$

代入数据解得 $a_2=4.7$ m/s^2

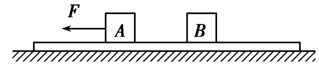
木板在时间 t 内的位移为 $s_2=\frac{1}{2}a_2t^2$

由题可知,$s_2-s_1=L$

代入数据解得 $t=2$ s

方法 4 滑块—滑板模型问题

1.(**2018 内蒙古五市联考,6**)一长轻质木板置于光滑水平地面上,木板上放质量分别为 $m_A=1$ kg 和 $m_B=2$ kg 的 A、B 两物块,A、B 与木板之间的动摩擦因数都为 $\mu=0.2$,且 A、B 与木板之间最大静摩擦力等于滑动摩擦力。水平恒力 F 作用在 A 物块上,如图所示,$g=10$ m/s^2。下列说法正确的是 ( )



A.若 $F=1$ N,则物块、木板都静止不动

B.若 $F=1.5$ N,则 A 物块所受摩擦力大小为 1.5 N

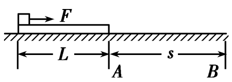
C.若 $F=4$ N,则 B 物块所受摩擦力大小为 4 N

D.若 $F=8$ N,则 B 物块的加速度为 1 m/s^2

答案 D 轻质木板的质量 $m=0$,因此任何时候都处于平衡

状态,物块 A 所受的最大静摩擦力 $f_{mA}=\mu m_A g=2\ N$,物块 B 所受的最大静摩擦力 $f_{mB}=\mu m_B g=4\ N$,当物块 A 相对木板滑动时,受到的摩擦力为 2 N,为使木板平衡,B 对木板的摩擦力最大为 2 N,因此 B 与木板始终相对静止,选项 C 错误;A 与木板恰好相对滑动时,A 与木板之间的摩擦力达到最大值,对整体有:$F=(m_A+m_B)a$,对 B 有:$f_B=f_{mA}=m_B a$,解得 $F=3\ N$,因此当 $F\leqslant 3\ N$ 时,A、B 与木板三者相对静止,一起加速运动,选项 A 错误;当 $F=1.5\ N$ 时,对整体由牛顿第二定律得 $F=(m_A+m_B)a'$,对 A 有:$F-f_A=m_A a'$,得 $f_A=1\ N$,选项 B 错误;当 $F=8\ N$ 时,A 相对木板滑动,B 受到的静摩擦力为 $f_B''=2\ N$,对 B 由牛顿第二定律得:$f_B''=m_B a''$,$a''=\dfrac{f_B''}{m_B}=1\ m/s^2$,选项 D 正确。

2. 有一项"快乐向前冲"的游戏可简化如下:如图所示,滑板长 $L=1\ m$,起点 A 到终点线 B 的距离 $s=5\ m$。开始滑板静止,右端与 A 平齐,滑板左端放一可视为质点的滑块,对滑块施一水平恒力 F 使滑板前进。板右端到达 B 处冲线,游戏结束。已知滑块与滑板间动摩擦因数 $\mu=0.5$,地面视为光滑,滑块质量 $m_1=2\ kg$,滑板质量 $m_2=1\ kg$,重力加速度 g 取 $10\ m/s^2$,求:



(1)滑板由 A 滑到 B 的最短时间;

(2)为使滑板能以最短时间到达,水平恒力 F 的取值范围。

答案　(1)1 s　(2)$30\ N\leqslant F\leqslant 34\ N$

解析　(1)滑块与滑板间摩擦力达到最大静摩擦力,且滑板一直加速时,所用时间最短。设滑板加速度为 a_2,则有 $F_f=\mu m_1 g=m_2 a_2$,

得 $a_2=10\ m/s^2$,

又 $s=\dfrac{a_2 t^2}{2}$,

得 $t=1\ s$。

(2)刚好相对滑动时,水平恒力最小,设为 F_1,此时可认为二者加速度相等,

$F_1-\mu m_1 g=m_1 a_2$,

$F_1=30\ N$。

当滑板运动到 B 点,滑块刚好脱离时,水平恒力最大,设为 F_2,设滑块加速度为 a_1,

$F_2-\mu m_1 g=m_1 a_1$,

$\dfrac{a_1 t^2}{2}-\dfrac{a_2 t^2}{2}=L$,

$F_2=34\ N$。

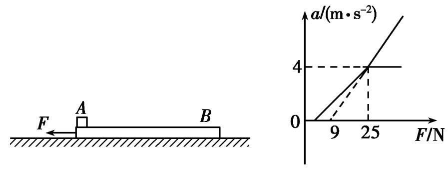
则水平恒力大小范围是 $30\ N\leqslant F\leqslant 34\ N$。

3. (2018 安徽 A10 联盟联考,11)如图甲所示,质量 $m=1\ kg$ 的小物块 A(可视为质点)放在质量 $M=4\ kg$ 的薄木板 B 的左端,木板长 $L=4.5\ m$,起初 A、B 静止在水平地面上。现用一水平向左的力 F 作用在木板 B 上,通过传感器测出 A、B 的加速度与外力 F 的变化关系如图乙所示。已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力,木板 B 的厚度可忽略不计,重力加速度 $g=10\ m/s^2$。

(1)求 A、B 之间的动摩擦因数 μ_1。

(2)求 B 与地面之间的动摩擦因数 μ_2。

(3)若开始时对 B 施加水平向左的恒力 $F=29\ N$,且给 A 一水平向右的初速度 $v_0=4\ m/s$,则经过多长时间物块 A 恰好滑到木板 B 的右端?



甲　　　　乙

答案　(1)0.4　(2)0.1　(3)1 s

解析　(1)由乙图可知,A、B 一起运动时 B 所受的最大外力为 25 N

当 $F>25\ N$ 时,A 与 B 发生相对滑动,根据牛顿第二定律

对于 A 有:$\mu_1 mg=ma_1$,其中 $a_1=4\ m/s^2$

解得:$\mu_1=0.4$。

(2)当 $F=25\ N$ 时,A、B 以相同的加速度运动,根据牛顿第二定律

对于 A、B 整体有:$F-\mu_2(M+m)g=(M+m)a_1$

解得:$\mu_2=0.1$。

(3)A 运动的加速度大小为 $a_1=4\ m/s^2$,方向水平向左

设 A 运动 t_1 时间速度减为零,则 $t=\dfrac{v_0}{a_1}=1\ s$

t_1 时间内 A 的位移大小 $x_1=\dfrac{v_0}{2}t_1=2\ m$,方向向右

B 的加速度大小 $a_2=\dfrac{F-\mu_1 mg-\mu_2(M+m)g}{M}=5\ m/s^2$,方向向左

t_1 时间内 B 的位移大小 $x_2=\dfrac{1}{2}a_2 t_1^2=2.5\ m$,方向向左

由于 $x_1+x_2=L$,即此时 A 运动到 B 的右端

故经过 1 s 时间 A 运动到 B 的右端。

2015-2019 5年高考　对应学生用书起始页码 218

A 组　基础题组

1. (2019 北京理综,20,6 分)国际单位制(缩写 SI)定义了米(m)、秒(s)等 7 个基本单位,其他单位均可由物理关系导出。例如,由 m 和 s 可以导出速度单位 $m\cdot s^{-1}$。历史上,曾用"米原器"定义米,用平均太阳日定义秒。但是,以实物或其运动来定义基本单位会受到环境和测量方式等因素的影响,而采用物理常量来定义则可避免这种困扰。1967 年用铯-133 原子基态的两个超精细能级间的跃迁辐射的频率 $\Delta\nu=9\ 192\ 631\ 770\ Hz$ 定义 s;1983 年用真空中的光速 $c=299\ 792\ 458\ m\cdot s^{-1}$ 定义 m。2018 年第 26 届国际计量大会决定,7 个基本单位全部用基本物理常量来定义(对应关系如图,例如,s 对应 $\Delta\nu$,m 对应 c)。新 SI 自 2019 年 5 月 20 日(国际计量日)正式实施,这将对科学和技术发展产生深远影响。下列选项<u>不正确</u>的是　　(　　)

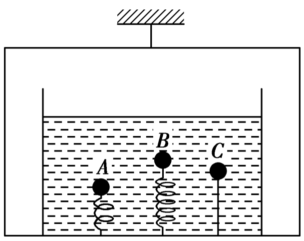


A.7 个基本单位全部用物理常量定义,保证了基本单位的稳定性
B.用真空中的光速 $c(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$ 定义 m,因为长度 l 与速度 v 存在 $l=vt$,而 s 已定义
C.用基本电荷 e(C)定义安培(A),因为电荷量 q 与电流 I 存在 $I=q/t$,而 s 已定义
D.因为普朗克常量 h(J·s)的单位中没有 kg,所以无法用它来定义质量单位

答案 D 本题考查了国际单位制中的基本单位及导出单位,利用单位的定义方法及导出方法考查了学生的理解能力、推理能力,体现了科学本质、科学态度等素养要求,渗透了关注社会发展、科技进步等价值观念。

由于物理常量与环境和测量方式等因素无关,故用来定义基本单位时也不受环境、测量方式等因素的影响,A 正确。由题意可知,t、ν 的单位已定义,真空中光速 c、基本电荷 e、普朗克常量 h 均为基本物理常量,故可分别用 $l=vt$、$I=q/t$、$h\nu=mc^2$ 来定义长度单位 m、电流单位 A 及质量单位 kg,B、C 正确,D 错误。

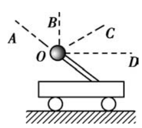
2.(2019 浙江 4 月选考,12,3 分) 如图所示,A、B、C 为三个实心小球,A 为铁球,B、C 为木球。A、B 两球分别连在两根弹簧上,C 球连接在细线一端,弹簧和细线的下端固定在装水的杯子底部,该水杯置于用绳子悬挂的静止吊篮内。若将挂吊篮的绳子剪断,则剪断的瞬间相对于杯底(不计空气阻力,$\rho_{木}<\rho_{水}<\rho_{铁}$) ( )



A.A 球将向上运动,B、C 球将向下运动
B.A、B 球将向上运动,C 球不动
C.A 球将向下运动,B 球将向上运动,C 球不动
D.A 球将向上运动,B 球将向下运动,C 球不动

答案 D 开始时 A 球下面的弹簧被压缩,A 球所受弹力向上;B 球下面的弹簧被拉长,B 球所受弹力向下;将挂吊篮的绳子剪断的瞬时,系统的加速度为 g,为完全失重状态,此时水对球的浮力为零,A 球将在弹力作用下相对于杯底向上运动,B 球将在弹力作用下相对于杯底向下运动,C 球相对于杯底不动。故选 D。

3.(2016 上海单科,4,3 分) 如图,顶端固定着小球的直杆固定在小车上,当小车向右做匀加速运动时,球所受合外力的方向沿图中的 ( )



A.OA 方向 B.OB 方向
C.OC 方向 D.OD 方向

答案 D 当小车向右做匀加速运动时,其加速度的方向水平向右,由牛顿第二定律可知,小球所受合外力的方向水平向右,即沿图中 OD 方向,选项 D 正确,选项 A、B、C 错误。

4.(2016 课标Ⅰ,18,6 分)(多选)一质点做匀速直线运动。现对其施加一恒力,且原来作用在质点上的力不发生改变,则 ( )
A.质点速度的方向总是与该恒力的方向相同
B.质点速度的方向不可能总是与该恒力的方向垂直
C.质点加速度的方向总是与该恒力的方向相同
D.质点单位时间内速率的变化量总是不变

答案 BC 由题意知此恒力即为质点所受合外力,若原速度与该恒力在一条直线上,则质点做匀变速直线运动,质点单位时间内速率的变化量总是不变的;原速度与该恒力不在一条直线上,则质点做匀变速曲线运动,速度与恒力间夹角逐渐减小,质点单位时间内速度的变化量是不变的,但速率的变化量是变化的,A、D 项错误,B 项正确;由牛顿第二定律知,质点加速度的方向总与该恒力方向相同,C 项正确。

易错点拨 理解速度变化量与速率变化量的区别。

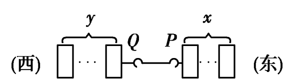
解题思路 正确解题应明确以下几点:①恒力即为质点所受合外力。②v_0 与 $F_{恒}$ 的方向关系,二者夹角不确定。③质点所受合外力恒定,则做匀变速运动。

解题关键 ①明确力与运动的关系。②质点由匀速直线运动变为匀变速运动。③匀变速运动可以是直线运动也可以是曲线运动。④匀变速运动有三个一定,即合外力一定、加速度一定、相同时间内速度变化量一定。

5.(2015 课标Ⅱ,20,6 分)(多选)在一东西向的水平直铁轨上,停放着一列已用挂钩连接好的车厢。当机车在东边拉着这列车厢以大小为 a 的加速度向东行驶时,连接某两相邻车厢的挂钩 P 和 Q 间的拉力大小为 F;当机车在西边拉着车厢以大小为 $\frac{2}{3}a$ 的加速度向西行驶时,P 和 Q 间的拉力大小仍为 F。不计车厢与铁轨间的摩擦,每节车厢质量相同,则这列车厢的节数可能为 ( )

A.8 B.10 C.15 D.18

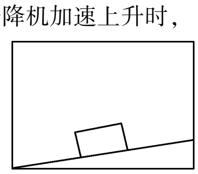
答案 BC 如图所示,假设挂钩 P、Q 东边有 x 节车厢,西边有 y 节车厢,每节车厢质量为 m。当向东行驶时,以 y 节车厢为研究对象,则有 $F=mya$;当向西行驶时,以 x 节车厢为研究对象,则有 $F=\frac{2}{3}mxa$,联立两式有 $y=\frac{2}{3}x$。可见,列车总节数 $N=x+y=\frac{5}{3}x$,设 $x=3n(n=1,2,3\cdots)$,则 $N=5n$,故可知选项 B、C 正确。



温馨提示 ①画好情景草图。②明确研究对象,向东行驶时,研究对象为 Q 西边车厢,向西行驶时,研究对象为 P 东边车厢。③根据牛顿第二定律列式。④车厢的节数只能为整数。

考查内容 本题考查了牛顿第二定律的应用。恰当地选取研究对象,充分利用数学知识分析推理,是解题的关键。题目难度适中,区分度很好。情景来源于生活且不偏不怪,较好地考查了考生应用知识解决实际问题的能力,是道好题。

6.(2015 海南单科,9,5 分)(多选)如图,升降机内有一固定斜面,斜面上放一物块。开始时,升降机做匀速运动,物块相对于斜面匀速下滑。当升降机加速上升时, ( )



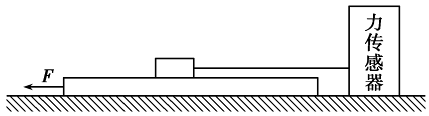
A.物块与斜面间的摩擦力减小
B.物块与斜面间的正压力增大
C.物块相对于斜面减速下滑
D.物块相对于斜面匀速下滑

答案 BD 当升降机匀速运动,物块相对于斜面匀速下滑

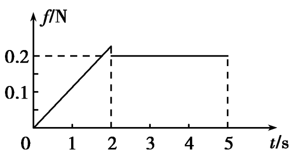
时有：$mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$，则$\mu=\tan\theta$（$\theta$为斜面倾角），当升降机加速上升时，设加速度为$a$；物块处于超重状态，超重$ma$。物块“重力”变为$G'=mg+ma$，支持力变为$N'=(mg+ma)\cos\theta>mg\cos\theta$，B对。“重力”沿斜面向下的分力$G_下'=(mg+ma)\sin\theta$，沿斜面的摩擦力变为$f'=\mu N'=\mu(mg+ma)\cos\theta>\mu mg\cos\theta$，A错误。$f'=\mu(mg+ma)\cos\theta=\tan\theta(mg+ma)\cos\theta=(mg+ma)\sin\theta=G_下'$，所以物块仍沿斜面匀速运动，D对，C错误。

B组　提升题组

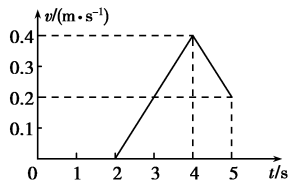
1.（2019课标Ⅲ，20，6分）（多选）如图（a），物块和木板叠放在实验台上，物块用一不可伸长的细绳与固定在实验台上的力传感器相连，细绳水平。$t=0$时，木板开始受到水平外力F的作用，在$t=4$ s时撤去外力。细绳对物块的拉力f随时间t变化的关系如图（b）所示，木板的速度v与时间t的关系如图（c）所示。木板与实验台之间的摩擦可以忽略。重力加速度取10 m/s^2。由题给数据可以得出（　　）



图（a）



图（b）



图（c）

A.木板的质量为1 kg

B.2 s~4 s内，力F的大小为0.4 N

C.0~2 s内，力F的大小保持不变

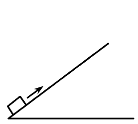
D.物块与木板之间的动摩擦因数为0.2

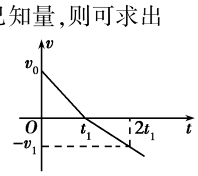
答案　AB　本题考查牛顿运动定律的综合应用，体现了物理学科科学推理的核心素养。

分析知木板受到的摩擦力$f'=f$。0~2 s，木板静止，$F=f'$，F逐渐增大，所以C错误。4~5 s，木板加速度大小$a_2=\frac{0.4-0.2}{1}$ m/s^2=0.2 m/s^2，对木板受力分析，$f'=ma_2=0.2$ N，得$m=1$ kg，所以A正确。2~4 s，对木板有$F-f'=ma_1$，$F=f'+ma_1=0.2\text{ N}+1\times\frac{0.4-0}{2}\text{ N}=0.4$ N，所以B正确。由于无法确定物块的质量，则尽管知道滑动摩擦力大小，仍无法确定物块与木板间的动摩擦因数，故D错误。

思路分析　以木板为研究对象，通过$f-t$与$v-t$图像对相应过程进行受力分析、运动分析，列方程解出相应的问题。

2.（2015课标Ⅰ，20，6分）（多选）如图（a），一物块在$t=0$时刻滑上一固定斜面，其运动的$v-t$图线如图（b）所示。若重力加速度及图中的v_0、v_1、t_1均为已知量，则可求出（　　）


图(a)



图(b)

A.斜面的倾角

B.物块的质量

C.物块与斜面间的动摩擦因数

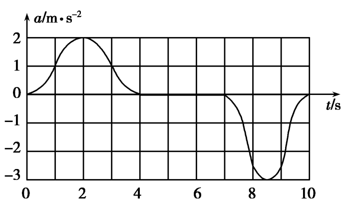
D.物块沿斜面向上滑行的最大高度

答案　ACD　设物块的质量为m、斜面的倾角为θ，物块与斜面间的动摩擦因数为μ，物块沿斜面上滑和下滑时的加速度大小分别为a_1和a_2，根据牛顿第二定律有：$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$，$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$。再结合$v-t$图线斜率的物理意义有：$a_1=\frac{v_0}{t_1}$，$a_2=\frac{v_1}{t_1}$。由上述四式可见，无法求出$m$，可以求出$\theta$、$\mu$，故B错，A、C均正确。0~$t_1$时间内的$v-t$图线与横轴包围的面积大小等于物块沿斜面上滑的最大距离，θ已求出，故可以求出物块上滑的最大高度，故D正确。

解题关键　①$v-t$图线斜率的绝对值等于加速度大小，②$v-t$图线与横轴所围的面积大小等于位移的大小。

温馨提示　①0~t_1时间内加速度a_1大于t_1~$2t_1$时间内的加速度a_2，0~t_1为上滑阶段，t_1~$2t_1$为下滑阶段。②没有明确斜面是否光滑，则不能主观忽略摩擦力。③在正确受力分析的前提下，列出上滑和下滑两个阶段的动力学方程。

3.（2015江苏单科，6，4分）（多选）一人乘电梯上楼，在竖直上升过程中加速度a随时间t变化的图线如图所示，以竖直向上为a的正方向，则人对地板的压力（　　）

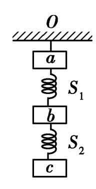


A.$t=2$ s时最大　　B.$t=2$ s时最小

C.$t=8.5$ s时最大　　D.$t=8.5$ s时最小

答案　AD　地板对人的支持力$F_N=mg+ma$，$t=2$ s时，a有正的最大值，此时F_N最大，由牛顿第三定律可知，A正确，B错误；$t=8.5$ s时，a有负的最大值，此时F_N最小，由牛顿第三定律可知，C错误，D正确。

4.（2015海南单科，8，5分）（多选）如图，物块a、b和c的质量相同，a和b、b和c之间用完全相同的轻弹簧S_1和S_2相连，通过系在a上的细线悬挂于固定点O。整个系统处于静止状态。现将细线剪断。将物块a的加速度的大小记为a_1，S_1和S_2相对于原长的伸长分别记为Δl_1和Δl_2，重力加速度大小为g。在剪断的瞬间，（　　）



A.$a_1=3g$　　B.$a_1=0$

C.$\Delta l_1=2\Delta l_2$　　D.$\Delta l_1=\Delta l_2$

答案　AC　剪断细线前，把a、b、c看成整体，细线上的拉力为$T=3mg$。在剪断瞬间，弹簧未发生突变，因此a、b、c之间的作用力与剪断细线之前相同。则将细线剪断瞬间，对a隔离进行受力分析，由牛顿第二定律得：$3mg=ma_1$得$a_1=3g$，A正确，B错误。由胡克定律知：$2mg=k\Delta l_1$，$mg=k\Delta l_2$，所以$\Delta l_1=2\Delta l_2$，C正确，D错误。

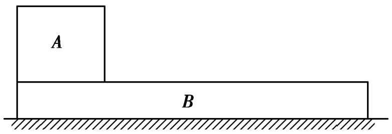
5.（2019江苏单科，15，16分）如图所示，质量相等的物块A和B叠放在水平地面上，左边缘对齐。A与B、B与地面间的动摩擦因数均为μ。先敲击A，A立即获得水平向右的初速度，在B上

滑动距离 L 后停下。接着敲击 B,B 立即获得水平向右的初速度,A、B 都向右运动,左边缘再次对齐时恰好相对静止,此后两者一起运动至停下。最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度为 g。求:

(1)A 被敲击后获得的初速度大小 v_A;

(2)在左边缘再次对齐的前、后,B 运动加速度的大小 a_B、a_B';

(3)B 被敲击后获得的初速度大小 v_B。



答案　(1) $\sqrt{2\mu gL}$　(2) $3\mu g$　μg　(3) $2\sqrt{2\mu gL}$

解析　本题通过板、块组合模型考查了牛顿运动定律的综合应用,考查了学生的综合分析能力与应用数学知识处理物理问题的能力,体现了科学思维中的模型建构、科学推理等素养要素。

(1)由牛顿运动定律知,A 加速度的大小 $a_A=\mu g$

匀变速直线运动 $2a_AL=v_A^2$

解得 $v_A=\sqrt{2\mu gL}$

(2)设 A、B 的质量均为 m

对齐前,B 所受合外力大小 $F=3\mu mg$

由牛顿运动定律 $F=ma_B$,得 $a_B=3\mu g$

对齐后,A、B 所受合外力大小 $F'=2\mu mg$

由牛顿运动定律 $F'=2ma_B'$,得 $a_B'=\mu g$

(3)经过时间 t,A、B 达到共同速度 v,位移分别为 x_A、x_B,A 加速度的大小等于 a_A

则 $v=a_At$,$v=v_B-a_Bt$

$x_A=\frac{1}{2}a_At^2$,$x_B=v_Bt-\frac{1}{2}a_Bt^2$

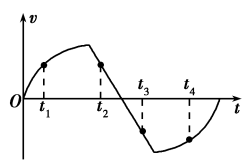
且 $x_B-x_A=L$

解得 $v_B=2\sqrt{2\mu gL}$

解题指导　A、B 间存在相对滑动时,其相互间摩擦力为滑动摩擦力;而二者速度达到相同时,摩擦力突变为静摩擦力,此时可采用整体法分析处理。

C组　教师专用题组

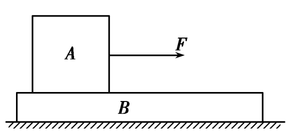
1.(2014山东理综,15,6分)(多选)一质点在外力作用下做直线运动,其速度 v 随时间 t 变化的图像如图。在图中标出的时刻中,质点所受合外力的方向与速度方向相同的有　(　　)



A.t_1　　B.t_2　　C.t_3　　D.t_4

答案　**AC**　$v-t$ 图像中,纵轴表示各时刻的速度,t_1、t_2 时刻速度为正,t_3、t_4 时刻速度为负,图线上各点切线的斜率表示该时刻的加速度,t_1、t_4 时刻加速度为正,t_2、t_3 时刻加速度为负,根据牛顿第二定律,加速度与合外力方向相同,故 t_1 时刻合外力与速度均为正,t_3 时刻合外力与速度均为负,A、C 正确,B、D 错误。

2.(2014江苏单科,8,4分)(多选)如图所示,A、B 两物块的质量分别为 $2m$ 和 m,静止叠放在水平地面上。A、B 间的动摩擦因数为 μ,B 与地面间的动摩擦因数为 $\frac{1}{2}\mu$。最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度为 g。现对 A 施加一水平拉力 F,则　(　　)



A.当 $F<2\mu mg$ 时,A、B 都相对地面静止

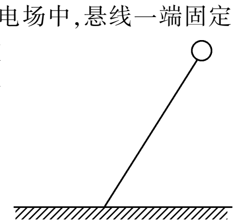
B.当 $F=\frac{5}{2}\mu mg$ 时,A 的加速度为 $\frac{1}{3}\mu g$

C.当 $F>3\mu mg$ 时,A 相对 B 滑动

D.无论 F 为何值,B 的加速度都不会超过 $\frac{1}{2}\mu g$

答案　**BCD**　对 A、B 整体,地面对 B 的最大静摩擦力为 $\frac{3}{2}\mu mg$,故当 $\frac{3}{2}\mu mg<F<2\mu mg$ 时,A、B 相对地面运动,故 A 错。对 A、B 整体应用牛顿第二定律,有 $F-\frac{\mu}{2}\times3mg=3ma$;对 B,在 A、B 恰好要发生相对运动时,$\mu\times2mg-\frac{\mu}{2}\times3mg=ma$,两式联立解得 $F=3\mu mg$,可见,当 $F>3\mu mg$ 时,A 相对 B 才能滑动,C 对。当 $F=\frac{5}{2}\mu mg$ 时,A、B 相对静止,对整体有:$\frac{5}{2}\mu mg-\frac{\mu}{2}\times3mg=3ma$,$a=\frac{1}{3}\mu g$,故 B 正确。无论 F 为何值,B 所受最大的动力都为 A 对 B 的最大静摩擦力 $2\mu mg$,故 B 的最大加速度 $a_{Bm}=\frac{2\mu mg-\frac{1}{2}\times3\mu mg}{m}=\frac{1}{2}\mu g$,可见 D 正确。

3.(2017上海单科,5,3分)如图,在匀强电场中,悬线一端固定于地面,另一端拉住一个带电小球,使之处于静止状态。忽略空气阻力,当悬线断裂后,小球将做　(　　)



A.曲线运动

B.匀速直线运动

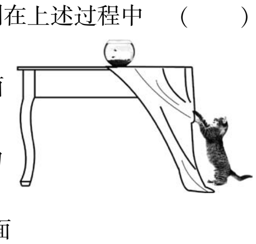
C.匀加速直线运动

D.变加速直线运动

答案　**C**　本题考查力与运动的关系。在悬线断裂前,小球受重力、电场力和悬线拉力作用而处于平衡状态,故重力与电场力的合力与拉力等值反向。悬线断裂后,小球所受重力与电场力的合力大小、方向均不变,故小球将沿原来悬线拉力的反方向做匀加速直线运动,C 项正确。

解题关键　解答本题,关键是分析清楚悬线断裂后,重力和电场力合力的大小、方向均不发生变化。

4.(2016江苏单科,9,4分)(多选)如图所示,一只猫在桌边猛地将桌布从鱼缸下拉出,鱼缸最终没有滑出桌面。若鱼缸、桌布、桌面两两之间的动摩擦因数均相等,则在上述过程中　(　　)



A.桌布对鱼缸摩擦力的方向向左

B.鱼缸在桌布上的滑动时间和在桌面上的相等

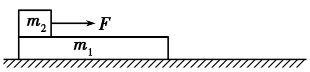
C.若猫增大拉力,鱼缸受到的摩擦力将增大

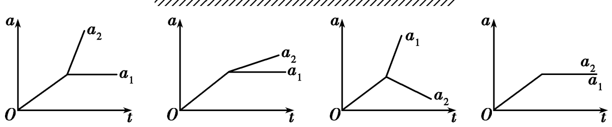
D.若猫减小拉力,鱼缸有可能滑出桌面

答案 BD 由题图可见,鱼缸相对桌布向左滑动,故桌布对鱼缸的滑动摩擦力方向向右,A 错。因为鱼缸与桌布、鱼缸与桌面间的动摩擦因数相等,所以鱼缸加速过程与减速过程的加速度大小相等,均为 μg;由 $v=at$ 可知,鱼缸在桌布上加速运动的时间与在桌面上减速运动的时间相等,故 B 正确。若猫增大拉力,鱼缸受到的摩擦力仍为滑动摩擦力,由 $F_f=\mu mg$ 可知,F_f 不变,故 C 错。若猫的拉力减小到使鱼缸不会相对桌布滑动,则鱼缸就会滑出桌面,故 D 正确。

评析 本题情景来源于生活中常见的现象,可以引导考生把学到的物理知识应用到对身边常见现象的解释上,以激发考生学习物理的兴趣。题目考查了对摩擦力大小、方向的分析及力与运动的关系,看似简单,实为多数考生知识相对模糊的考点,同时对考生的分析推理能力要求较高,故本题为较难题。

5.(2011 课标,21,6 分)如图,在光滑水平面上有一质量为 m_1 的足够长的木板,其上叠放一质量为 m_2 的木块。假定木块和木板之间的最大静摩擦力和滑动摩擦力相等。现给木块施加一随时间 t 增大的水平力 $F=kt$(k 是常数),木板和木块加速度的大小分别为 a_1 和 a_2。下列反映 a_1 和 a_2 变化的图线中正确的是 ( )





A B C D

答案 A 在 m_2 与 m_1 相对滑动前,$F=kt=(m_1+m_2)a$,a 与 t 成正比关系,$a-t$ 关系图线的斜率为 $\frac{k}{m_1+m_2}$,当 m_1 与 m_2 相对滑动后,m_1 受的是 $f_{21}=m_2g\mu=m_1a_1$,$a_1=\frac{\mu m_2 g}{m_1}$为一恒量,对 m_2 有$F-\mu m_2g=m_2a_2$,得 $a_2=\frac{kt}{m_2}-\mu g$,斜率为$\frac{k}{m_2}$,可知 A 正确,B、C、D 错误。

6.(2015 重庆理综,3,6 分)高空作业须系安全带,如果质量为 m 的高空作业人员不慎跌落,从开始跌落到安全带对人刚产生作用力前人下落的距离为 h(可视为自由落体运动)。此后经历时间 t 安全带达到最大伸长,若在此过程中该作用力始终竖直向上,则该段时间安全带对人的平均作用力大小为 ( )

A.$\frac{m\sqrt{2gh}}{t}+mg$　　B.$\frac{m\sqrt{2gh}}{t}-mg$

C.$\frac{m\sqrt{gh}}{t}+mg$　　D.$\frac{m\sqrt{gh}}{t}-mg$

答案 A **解法一**:对人与安全带作用的过程应用牛顿第二定律,则有 $F-mg=ma$,而 $a=\frac{v}{t}=\frac{\sqrt{2gh}}{t}$,解得 $F=\frac{m\sqrt{2gh}}{t}+mg$,故 A 正确。

解法二:由 $v^2=2gh$ 得 $v=\sqrt{2gh}$。对人与安全带作用的过程应用动量定理,则有$(mg-F)t=0-mv$,解得 $F=\frac{m\sqrt{2gh}}{t}+mg$,故 A 正确。

7.(2013 课标Ⅰ,14,6 分,0.787)如图是伽利略 1604 年做斜面实验时的一页手稿照片,照片左上角的三列数据如下表。表中第二列是时间,第三列是物体沿斜面运动的距离,第一列是伽利略在分析实验数据时添加的。根据表中的数据,伽利略可以得出的结论是 ( )



1	1	32
4	2	130
9	3	298
16	4	526
25	5	824
36	6	1 192
49	7	1 600
64	8	2 104

A.物体具有惯性

B.斜面倾角一定时,加速度与质量无关

C.物体运动的距离与时间的平方成正比

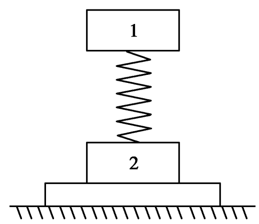
D.物体运动的加速度与重力加速度成正比

答案 C 由题可知,表中的物理量未涉及物体的惯性、质量以及加速度与重力加速度的关系,所以 A、B、D 错误,由表中数据可以看出,在前 1 秒、前 2 秒、前 3 秒……内运动的距离与时间的平方成正比,所以 C 正确。

解题思路 题干中明确了第二列为时间,第三列是物体沿斜面运动的距离,而第一列显然是时间 t 的平方。以第一列数值乘以 32 即可得到第三列数值。则说明在相应时间内运动的距离与时间的平方成正比。

考查内容 ①图表识别处理能力。②实验数据处理能力。③分析综合能力。④运用数学工具的能力。

8.(2010 课标Ⅰ,15,6 分)如图,轻弹簧上端与一质量为 m 的木块 1 相连,下端与另一质量为 M 的木块 2 相连,整个系统置于水平放置的光滑木板上,并处于静止状态。现将木板沿水平方向突然抽出,设抽出后的瞬间,木块 1、2 的加速度大小分别为 a_1、a_2。重力加速度大小为 g。则有 ( )



A.$a_1=0,a_2=g$　　B.$a_1=g,a_2=g$

C.$a_1=0,a_2=\frac{m+M}{M}g$　　D.$a_1=g,a_2=\frac{m+M}{M}g$

答案 C 木板抽出前,由平衡条件可知弹簧被压缩产生的弹力大小为 mg。木板抽出后瞬间,弹簧弹力保持不变,仍为 mg。由平衡条件和牛顿第二定律可得 $a_1=0,a_2=\frac{m+M}{M}g$。答案为 C。

解题思路 关键词:①静止状态,②突然抽出。

把木板抽出瞬间对 1、2 木块分别受力分析(注意弹簧形变量大,弹力瞬间不变)→木块 1 仍处于二力平衡 $a=0$,木块 2 受弹簧弹力、重力,根据牛顿第二定律求出其加速度。

9.[2019 天津理综,9(1)]第 26 届国际计量大会决定,质量单位"千克"用普朗克常量 h 定义,"国际千克原器"于 2019 年 5 月 20 日正式"退役"。h 的数值为 6.63×10^{-34},根据能量子定义,h 的单位是________,该单位用国际单位制中的力学基本单位表示,则为________。

答案 J·s　kg·m^2/s

解析 本题考查国际单位制中普朗克常量 h 的导出单位。

能量 $E=h\nu$,则 $h=E/\nu$,故 h 的单位为 J·s。由 $W=Fs=mas$ 可知,1 J=1 kg·(m/s^2)·m,故 1 J·s=1 kg·m^2/s。

10.(2014 课标Ⅰ,24,12 分)公路上行驶的两汽车之间应保持一定的安全距离。当前车突然停止时,后车司机可以采取刹车措施,使汽车在安全距离内停下而不会与前车相碰。通常情

况下,人的反应时间和汽车系统的反应时间之和为1 s,当汽车在晴天干燥沥青路面上以108 km/h的速度匀速行驶时,安全距离为120 m。设雨天时汽车轮胎与沥青路面间的动摩擦因数为晴天时的2/5,若要求安全距离仍为120 m,求汽车在雨天安全行驶的最大速度。

答案　20 m/s(或72 km/h)

解析　设路面干燥时,汽车与路面间的动摩擦因数为μ_0,刹车时汽车的加速度大小为a_0,安全距离为s,反应时间为t_0,由牛顿第二定律和运动学公式得

$\mu_0 mg=ma_0$　①

$s=v_0t_0+\frac{v_0^2}{2a_0}$　②

式中,m和v_0分别为汽车的质量和刹车前的速度。

设在雨天行驶时,汽车与路面间的动摩擦因数为μ,依题意有$\mu=\frac{2}{5}\mu_0$　③

设在雨天行驶时汽车刹车的加速度大小为a,安全行驶的最大速度为v,由牛顿第二定律和运动学公式得

$\mu mg=ma$　④

$s=vt_0+\frac{v^2}{2a}$　⑤

联立①②③④⑤式并代入题给数据得

$v=20$ m/s(72 km/h)　⑥

温馨提示　①108 km/h=30 m/s;②安全行驶意味着在120 m的距离内速度降为0;③运用牛顿第二定律和运动学公式求解。

评析　考查了情景想象与推理能力,应用数学工具解题的能力。

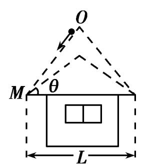
3年模拟 2018-2020

对应学生用书起始页码220

时间:60分钟　分值:95分

一、选择题(每小题6分,共48分)

1.(2020届广东汕头模拟,2)(多选)建设房屋时,保持底边L不变,要设计好屋顶的倾角θ,以便下雨时落在房顶的雨滴能尽快地滑离屋顶,雨滴下滑时可视为小球做无初速度、无摩擦的运动。下列说法正确的是　(　　)



A.倾角θ越大,雨滴下滑时的加速度越大

B.倾角θ越大,雨滴对屋顶压力越大

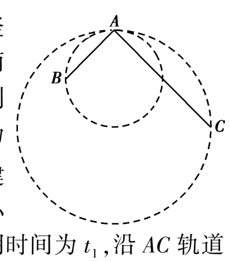
C.倾角θ越大,雨滴从顶端O下滑至屋檐M时的速度越大

D.倾角θ越大,雨滴从顶端O下滑至屋檐M时的时间越短

答案　AC　本题考查牛顿运动定律中力和运动的关系,体现了物理观念中的运动与相互作用要素。

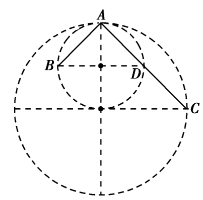
屋顶的倾角为θ,底边长度为L,注意底边长度是不变的,设屋顶的坡面长度为x,雨滴下滑时加速度为a。对雨滴受力分析,只受重力mg和屋顶对雨滴的支持力F_N,垂直于屋顶方向,$mg\cos\theta=F_N$,平行于屋顶方向,$ma=mg\sin\theta$。雨滴的加速度为$a=g\sin\theta$,则倾角θ越大,雨滴下滑时的加速度越大,故A正确;雨滴对屋顶的压力大小$F_N'=F_N=mg\cos\theta$,则倾角θ越大,雨滴对屋顶压力越小,故B错误;根据三角关系判断,屋顶坡面的长度$x=\frac{L}{2\cos\theta}$,由$x=\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot t^2$,可得$t=\sqrt{\frac{2L}{g\sin 2\theta}}$,可见当$\theta=45°$时,用时最短,D错误;由$v=g\sin\theta\cdot t$,可得$v=\sqrt{gL\tan\theta}$,可见$\theta$越大,雨滴从顶端$O$下滑至$M$时的速度越大,C正确。

2.(2018河北五校联考,6)如图所示,在竖直平面内有半径为R和$2R$的两个圆,两圆的最高点相切,切点为A,B和C分别是小圆和大圆上的点,其中AB长为$\sqrt{2}R$,AC长为$2\sqrt{2}R$。现沿AB和AC建立两条光滑轨道,自A处由静止释放小球,已知小球沿AB轨道运动到B点所用时间为t_1,沿AC轨道运动到C点所用时间为t_2,则t_1与t_2之比为　(　　)

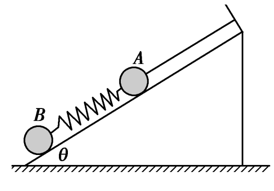


A.$1:\sqrt{2}$　B.$1:2$　C.$1:\sqrt{3}$　D.$1:3$

答案　A　由几何关系可得小圆与AC的交点D为AC的中点,由初速度为零的匀变速直线运动的知识知,小球通过AD和AC的时间之比为$1:\sqrt{2}$,由等时圆结论知,小球通过AB和通过AD的时间相等,故小球通过AB的时间与小球通过AC的时间之比为$1:\sqrt{2}$,选项A正确。



3.(2020届宁夏银川一中摸底,5)两个质量均为m的小球,用一条轻细线和轻弹簧连接,放置在倾角为$\theta=30°$的光滑斜面上,处于平衡状态。如图所示,系统静止时,弹簧与细线均平行于斜面,在细线被烧断的瞬间,下列说法正确的是　(　　)

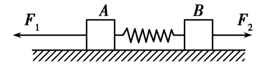


A.$a_A=0,a_B=\frac{1}{2}g$　　B.$a_A=g,a_B=0$

C.$a_A=g,a_B=g$　　D.$a_A=0,a_B=g$

答案　B　细线被烧断的瞬间,小球B的受力情况不变,加速度为0。烧断前,分析整体受力可知线的拉力为$T=2mg\sin\theta$,烧断瞬间,A受的合力沿斜面向下,大小为$2mg\sin\theta$,所以A球的瞬时加速度为$a_A=2g\sin 30°=g$,故选项B正确。

4.(2018陕西西安模拟,8)(多选)质量分别为2 kg和3 kg的物块A、B放在光滑水平面上并用轻质弹簧相连,如图所示,今对物块A、B分别施以方向相反的水平力F_1、F_2,且$F_1=20$ N、$F_2=10$ N,则下列说法正确的是　(　　)



A.弹簧的弹力大小为16 N

B.如果只有F_1作用,则弹簧的弹力大小变为12 N

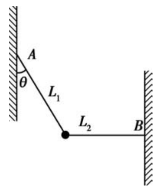
C.若把弹簧换成轻质绳,则绳对物体的拉力大小为零

D.若$F_1=10$ N、$F_2=20$ N,则弹簧的弹力大小不变

答案　AB　对整体受力分析有:$F_1-F_2=(m_A+m_B)a$,对A受

力分析有：$F_1-F_{弹}=m_Aa$，解得：$F_{弹}=16$ N，选项 A 正确；同理可知，若只有 F_1 作用，则弹簧的弹力大小变为 $F_{弹}=\frac{m_BF_1}{m_A+m_B}=12$ N，选项 B 正确；若把弹簧换成轻质绳，则绳对物体的拉力也为 16 N，选项 C 错误；若 $F_1=10$ N、$F_2=20$ N，对整体受力分析有：$F_2-F_1=(m_A+m_B)a$，对 A 受力分析有：$F_{弹}-F_1=m_Aa$，解得：$F_{弹}=14$ N，选项 D 错误。

5.（2018 河北五校联考，3）（多选）如图所示，两根粗细均匀，重力不计的橡皮筋 L_1、L_2 的一端分别连接于 A、B 两点，另一端与同一小球相连，小球静止时，L_1 与竖直方向的夹角为 θ，L_2 保持水平，此时两根橡皮筋的长度相等，已知两根橡皮筋的劲度系数相等，橡皮筋的弹力与形变量成正比，重力加速度为 g，则（　　）



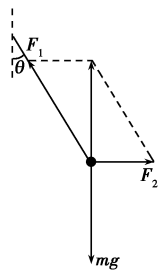
A.两根橡皮筋的形变量相等

B.L_1 的原长比 L_2 的原长短

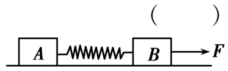
C.剪断 L_1 的瞬间，小球的加速度大小为 g

D.剪断 L_2 的瞬间，小球的加速度大小为 $g\tan\theta$

答案　BD　小球静止时，对其受力分析如图所示，由平衡条件有 $F_1=\frac{mg}{\cos\theta}$，$F_2=mg\tan\theta$，$\sin\theta=\frac{F_2}{F_1}<1$，又 $F_1=kx_1$，$F_2=kx_2$，可得 $x_1>x_2$，则知 L_1 的原长比 L_2 的原长短，A 项错误、B 项正确；剪断 L_1 的瞬间，小球的加速度大小 $a_1=\frac{F_1}{m}=\frac{g}{\cos\theta}$，剪断 L_2 的瞬间，小球的加速度大小 $a_2=\frac{F_2}{m}=g\tan\theta$，C 项错误，D 项正确。



6.（2018 内蒙古五市联考，4）如图所示，光滑水平面上，A、B 两物体用轻弹簧连接在一起，A、B 的质量分别为 m_1、m_2，在拉力 F 作用下，A、B 共同做匀加速直线运动，加速度大小为 a，某时刻突然撤去拉力 F，此瞬时 A 和 B 的加速度大小为 a_1 和 a_2，则（　　）



A.$a_1=0$，$a_2=0$

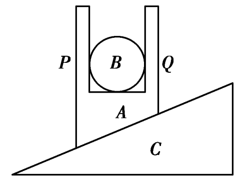
B.$a_1=a$，$a_2=\frac{m_2}{m_1+m_2}a$

C.$a_1=\frac{m_2}{m_1+m_2}a$，$a_2=\frac{m_2}{m_1+m_2}a$

D.$a_1=a$，$a_2=\frac{m_1}{m_2}a$

答案　D　两物体都做匀加速运动，以 A 为研究对象，设弹簧的弹力大小为 T，则有 $T=m_1a$，突然撤去拉力 F 瞬间，弹簧弹力 T 不变，因此，物体 A 的受力不变，A 的加速度不变，$a_1=a$，物体 B 的加速度 $a_2=\frac{T}{m_2}=\frac{m_1a}{m_2}$，选项 D 正确。

7.（2018 天津河东一模）（多选）如图所示，带有长方体盒子的斜劈 A 放在固定的斜面体 C 的斜面上，在盒子内放有光滑球 B，B 恰与盒子前、后壁 P、Q 相接触。若使斜劈 A 在斜面体 C 上静止不动，则 P、Q 对球 B 无压力。以下说法正确的是（　　）



A.若 C 的斜面光滑，斜劈 A 由静止释放，则 Q 对球 B 有压力

B.若 C 的斜面光滑，斜劈 A 以一定的初速度沿斜面向上滑行，则 P、Q 对 B 球均无压力

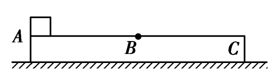
C.若 C 的斜面粗糙，斜劈 A 沿斜面匀速下滑，则 P、Q 对球 B 均无压力

D.若 C 的斜面粗糙，斜劈 A 沿斜面以一定的初速度减速下滑，则 P 对球 B 有压力

答案　ACD　若 C 的斜面光滑，无论斜劈是由静止释放还是以一定的初速度沿斜面上滑，斜劈和球具有相同的加速度，方向均沿斜面向下；根据牛顿第二定律，知 B 球所受的合力方向沿斜面向下，所以 B 球受重力、盒子底部的支持力以及 Q 对球的压力，而 P 对球无压力，所以 A 选项是正确的，B 选项是错误的。若 C 的斜面粗糙，斜劈 A 沿斜面匀速下滑，则 B 球处于平衡状态，受重力和盒子底部的支持力而平衡，P、Q 对球均无压力，所以 C 选项是正确的。若 C 的斜面粗糙，斜劈 A 沿斜面减速下滑，斜劈和球整体具有相同的加速度，方向沿斜面向上，根据牛顿第二定律，知 B 球所受的合力方向沿斜面向上，所以 B 球受重力、盒子底部的支持力以及 P 对球的压力，所以 D 选项是正确的。

思路点拨　斜劈 A 在斜面体 C 上静止不动，则 B 受的重力和支持力平衡。当斜面光滑，斜劈 A 和 B 球具有相同的加速度且方向沿斜面向下，再通过对 B 球进行分析，进而判断 P、Q 对球有无压力。当斜面粗糙时，按照同样的方法，先判断出整体的加速度方向，再隔离 B 进行受力分析，从而判断 P、Q 对球有无压力。

8.（2020 届甘肃兰州一中期中，21）（多选）如图所示，有一个质量为 m 的长木板静止在光滑水平地面上，另一质量也为 m 的小物块叠放在长木板的一端之上。B 是长木板的中点，物块与木板在 AB 段的动摩擦因数为 μ，在 BC 段的动摩擦因数为 2μ，若把物块放在长木板左端，对其施加水平向右的力 F_1 可使其恰好与木板发生相对滑动。若把物块放在长木板右端，对其施加水平向左的力 F_2 也可使其恰好与木板发生相对滑动。下列说法正确的是（　　）



A.F_1 与 F_2 的大小之比为 1∶2

B.若将 F_1、F_2 都增加到原来的 2 倍，小物块在木板上运动到 B 点的时间之比为 1∶2

C.若将 F_1、F_2 都增加到原来的 2 倍，小物块在木板上运动到 B 点时木板的位移之比为 1∶1

D.若将 F_1、F_2 都增加到原来的 2 倍，小物块在木板上运动的整个过程中摩擦生热之比为 1∶1

答案　ACD　若物块放在左端，施加水平向右的力 F_1 时，由题意可知，对物块有 $F_1-\mu mg=ma$，对木板有 $\mu mg=ma$

联立得，$F_1=2\mu mg$。同理，若放在右端，施加向左的力 F_2 时，有 $F_2=4\mu mg$

故 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{2\mu mg}{4\mu mg}=\frac{1}{2}$，选项 A 正确；

当 F_1 变为 $2F_1$ 时，物块与木板相对滑动，此时，物块的加速度 $a_1=\frac{2F_1}{m}-\mu g$

木板加速度 $a_2=\mu g$

设 AB 的长度为 L,运动到 B 历时 t,由位移关系得 $\frac{1}{2}a_1t^2-\frac{1}{2}a_2t^2=L$

解得:$t=\sqrt{\frac{2L}{\frac{2F_1}{m}-2\mu g}}$;同理,施加向左的 $2F_2$ 时,运动到 B 的时间 $t'=\sqrt{\frac{2L}{\frac{2F_2}{m}-4\mu g}}$

两次运动到 B 点的时间之比为$\sqrt{2}:1$,选项B错误;

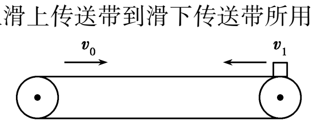
当 F_1、F_2 都变为原来的2倍,木板的位移分别为 $x_1=\frac{1}{2}a_2t^2=\frac{\mu g}{2}t^2$ 和 $x_2=\mu gt'^2$,因此,物块在木板上运动到 B 点时木板的位移之比为 $1:1$,选项C正确;小物块最终都会滑离木板,整个过程中摩擦生热之比为 $1:1$,选项D正确。

二、非选择题(共47分)

9.(11分)(**2018东北三校第一次联考,16**)如图所示,长度 $L=10$ m 的水平传送带以速率 $v_0=4$ m/s 沿顺时针方向运行,质量 $m=1$ kg 的小物块(可视为质点)以 $v_1=6$ m/s 的初速度从右端滑上传送带。已知物块与传送带之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$,重力加速度 $g=10$ m/s^2,求:

(1)物块相对地面向左运动的最大距离为多少。

(2)物块从滑上传送带到滑下传送带所用的时间为多少。



答案 (1)9 m (2)6.25 s

解析 (1)物块相对于地面向左运动的最大距离 $x=\frac{v_1^2}{2\mu g}=9$ m

(2)物块向左滑动的时间 $t_1=\frac{v_1}{\mu g}=3$ s

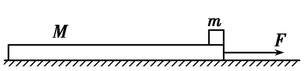
物块向右加速的时间 $t_2=\frac{v_0}{\mu g}=2$ s

物块向右加速运动的位移 $x_1=\frac{1}{2}\mu gt_2^2=4$ m

物块向右匀速运动的时间 $t_3=\frac{x-x_1}{v_0}=1.25$ s

物块从滑上传送带到滑下传送带所用的时间 $t=t_1+t_2+t_3=6.25$ s

10.(12分)(**2020届河南中原名校联考,12**)如图所示,在光滑的水平面上有一足够长的质量为 $M=4$ kg 的长木板,在长木板右端有一质量为 $m=1$ kg 的小物块,长木板与小物块间动摩擦因数为 $\mu=0.2$,长木板与小物块均静止。现用 $F=14$ N 的水平恒力向右拉长木板,经时间 $t=1$ s 撤去水平恒力 F。(g 取10 m/s^2)



(1)在 F 的作用下,长木板的加速度为多大?

(2)刚撤去 F 时,小物块离长木板右端多远?

(3)最终长木板与小物块一同以多大的速度匀速运动?

(4)最终小物块离长木板右端多远?

答案 (1)3 m/s^2 (2)0.5 m (3)2.8 m/s (4)0.7 m

解析 本题考查了运用牛顿第二定律处理连接体问题,体现了科学思维中的科学推理要素。

(1)根据牛顿第二定律可得 $a=\frac{F-\mu mg}{M}$,解得 $a=3$ m/s^2

(2)撤去 F 之前,小物块受摩擦力作用,

故 $a_m=\mu g=2$ m/s^2

$\Delta x_1=\frac{1}{2}at^2-\frac{1}{2}a_mt^2$,解得 $\Delta x_1=0.5$ m

(3)刚撤去 F 时,$v=at=3$ m/s,$v_m=a_mt=2$ m/s

撤去 F 后,长木板的加速度 $a'=\frac{\mu mg}{M}=0.5$ m/s^2

最终速度 $v'=v_m+a_mt'=v-a't'$

解得 $v'=2.8$ m/s

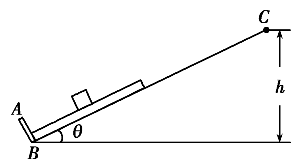
(4)在 t' 内,小物块和木板的相对位移

$\Delta x_2=\frac{v^2-v'^2}{2a'}-\frac{v'^2-v_m^2}{2a_m}$

解得 $\Delta x_2=0.2$ m

最终小物块离长木板右端 $x=\Delta x_1+\Delta x_2=0.7$ m。

11.(12分)(**2018安徽皖南八校联考,17**)如图所示,倾角为 $\theta=30°$ 的光滑斜面上有固定挡板 AB,斜面上 B、C 两端点间高度差为 h。斜面上叠放着质量均为 m 的小物块和薄木板,小物块视为质点,薄木板长为 L,下端位于挡板 AB 处,整体处于静止状态。木板和物块两者间的动摩擦因数 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{2}$,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度为 g。



(1)若木板和物块一起以某初速度沿斜面向上运动,木板上端恰能到达 C 点,求初速度大小;

(2)若给木板施加一平行斜面向上的拉力,为使木板上滑且与物块间没有相对滑动,求拉力应满足的条件;

(3)若给木板施加一平行斜面向上的拉力,且大小为 $F=2mg$,假设在此后的运动过程中小物块始终未脱离木板,要使木板上端恰能到达 C 点,求拉力 F 作用的时间 t_1。

答案 (1)$\sqrt{g(2h-L)}$

(2)$mg<F\leqslant1.5mg$

(3)$\sqrt{\frac{3(2h-L)}{2g}}$

解析 (1)以木板和小物块整体为研究对象,由动能定理有

$-2mg(h-L\sin\theta)=0-\frac{1}{2}\cdot2mv_0^2$

解得:$v_0=\sqrt{g(2h-L)}$

(2)设物块沿斜面向上运动的最大加速度为 a,最大拉力为 F_m,则

对物块有 $\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$

对物块和木板整体有 $F_m-2mg\sin\theta=2ma$

解得 $F_m=1.5mg$

要使整体能沿斜面上升应满足 $F>2mg\sin\theta=mg$

所以 $mg<F\leqslant1.5mg$

(3)物块相对木板滑动过程中,设物块的加速度为 a_1,有拉力作用时木板的加速度为 a_2,撤去拉力后木板的加速度大小为 a_3,则

对物块 $\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma_1$

对木板 $F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$

$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_3$

在 t_1 时刻小物块的速度为 v_1，木板的速度 v_2，则

$v_1=a_1t_1$，$v_2=a_2t_1$

设撤去拉力后，经过时间 t_2 二者速度相同，则

$v_3=v_2-a_3t_2=v_1+a_1t_2$

此后二者一起匀减速上滑，设加速度大小为 a_4，则

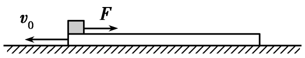
$2mg\sin\theta=2ma_4$

全过程中木板的位移：$x=\frac{1}{2}a_2t_1^2+a_2t_1t_2-\frac{1}{2}a_3t_2^2+\frac{v_3^2}{2a_4}$

由几何关系有：$\frac{h}{\sin\theta}=x+L$

解得拉力 F 作用的时间 $t_1=\sqrt{\frac{3(2h-L)}{2g}}$

12.（12分）**（2020届陕西西安中学期中，17）**如图所示，质量 $m_1=2$ kg 小物块放在足够长的质量 $m_2=1$ kg 的木板的左端，板和物块间的动摩擦因数 $\mu_1=0.2$，板和水平面间的动摩擦因数 $\mu_2=0.1$，两者均静止。现突然给木板向左的初速度 $v_0=3.5$ m/s，同时对小物块施加一水平向右的恒定拉力 $F=10$ N，当木板向左运动最远时撤去 F，取 $g=10$ m/s^2。求：



（1）木板开始运动时，小物块和木板的加速度大小；

（2）整个过程中，木板在水平面上滑行的位移大小；

（3）整个过程中，小物块、木板和水平面组成系统摩擦产生的热。

答案　（1）3 m/s^2　7 m/s^2

（2）0.625 m

（3）9.875 J

解析　本题考查了牛顿运动定律在连接体中的应用，体现了运动与相互作用要素。

（1）由题意知物块向右做匀加速运动，木板先向左匀减速运动，再向右匀加速运动，物块与木板间滑动摩擦力为

$f_1=\mu_1m_1g=0.2\times2\times10\ \text{N}=4\ \text{N}$

则物块的加速度大小为 $a_1=\frac{F-f_1}{m_1}=\frac{10-4}{2}\ \text{m/s}^2=3\ \text{m/s}^2$，方向向右；

木板与水平面之间的摩擦力为 $f_2=\mu_2(m_1+m_2)g=0.1\times(2+1)\times10\ \text{N}=3\ \text{N}$

根据牛顿第二定律知，木板的加速度大小为 $a_2=\frac{f_1+f_2}{m_2}=\frac{4+3}{1}\ \text{m/s}^2=7\ \text{m/s}^2$，方向也向右；

（2）当木板向左的位移最大时，对水平面的速度为0，选取向右为正方向，则木板的位移为 $x_1=\frac{0-v_0^2}{2a_2}=\frac{0-(-3.5)^2}{2\times7}\ \text{m}=-0.875\ \text{m}$

经历的时间为 $t_1=\frac{0-v_0}{a_2}=\frac{0-(-3.5)}{7}\ \text{s}=0.5\ \text{s}$

此时小物块的速度为 $v_1=a_1t_1=3\times0.5\ \text{m/s}=1.5\ \text{m/s}$

此过程中小物块的位移为 $x_2=\frac{1}{2}a_1t_1^2=\frac{1}{2}\times3\times0.5^2\ \text{m}=0.375\ \text{m}$

在撤去 F 后的小物块水平方向只受到摩擦力，则加速度为 $a_1'=\frac{-f_1}{m_1}=\frac{-4}{2}\ \text{m/s}^2=-2\ \text{m/s}^2$

此后木板向右运动，此时受到水平面的摩擦力的方向向左，则木板的加速度为 $a_2'=\frac{f_1-f_2}{m_2}=\frac{4-3}{1}\ \text{m/s}^2=1\ \text{m/s}^2$

设经过时间 t_2 二者的速度相等，则有：$v_1+a_1't_2=a_2't_2$

代入数据得：$t_2=0.5$ s

此时刻的速度为 $v_2=a_2't_2=1\times0.5\ \text{m/s}=0.5\ \text{m/s}$

此过程中小物块的位移为 $x_2'=\frac{v_1+v_2}{2}\cdot t_2=\frac{1.5+0.5}{2}\times0.5\ \text{m}=0.5\ \text{m}$

木板的位移为 $x_1'=\frac{1}{2}a_2't_2^2=\frac{1}{2}\times1\times0.5^2\ \text{m}=0.125\ \text{m}$

当木块、木板具有共同速度时，若两者不再发生相对滑动，则二者一起做减速运动，它们在水平方向只受到地面的摩擦力。

以小物块与木板组成的系统为研究对象，整体的加速度为 $a_3=\frac{-f_2}{m_1+m_2}=\frac{-3}{2+1}\ \text{m/s}^2=-1\ \text{m/s}^2$

由于 $|-1\ \text{m/s}^2|<|-2\ \text{m/s}^2|$，可知满足二者一起减速的条件。设经过时间 t_3，两者速度为0，则有：

$0=v_2+a_3t_3$，代入数据得：$t_3=0.5$ s

该过程中二者的位移为 $x_3=\frac{0-v_2^2}{2a_3}=\frac{0-0.5^2}{2\times(-1)}\ \text{m}=0.125\ \text{m}$

所以木板在水平面上的总位移为 $x=x_1+x_1'+x_3=-0.875\ \text{m}+0.125\ \text{m}+0.125\ \text{m}=-0.625\ \text{m}$，负号表示方向向左

（3）小物块与木板之间产生的热量为 $Q_1=f_1\Delta s=f_1(x_2+x_2'-x_1-x_1')=4\times[0.375+0.5-(-0.875)-0.125]\ \text{J}=6.5\ \text{J}$

木板与水平面之间产生的热量为 $Q_2=f_2s=f_2(|x_1|+x_1'+x_3)=3\times(0.875+0.125+0.125)\ \text{J}=3.375\ \text{J}$

所以小物块、木板和水平面组成系统摩擦产生的热为：$Q=Q_1+Q_2=6.5+3.375\ \text{J}=9.875\ \text{J}$

专题四 曲线运动

探考情 悟真题

5年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码38

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
曲线运动、运动的合成与分解	曲线运动、运动的合成与分解	2018北京理综,20,6分	2		模型建构		★★☆
		2015广东理综,14,4分	3		运动与相互作用观念		
抛体运动	平抛运动	2019课标Ⅱ,19,6分	4	v-t图像	模型建构		★★★
		2018课标Ⅲ,17,6分	4	动能定理	模型建构		
		2017课标Ⅱ,17,6分	4	机械能守恒	科学推理		
圆周运动	圆周运动中的动力学分析	2019江苏单科,6,4分	4	牛顿第二定律	模型建构		★★★
		2018江苏单科,6,4分	2		模型建构		

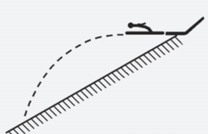
分析解读

曲线运动是高考的重点内容,运动的合成与分解、平抛运动、圆周运动是高考的考点。抛体运动的规律、竖直平面内的圆周运动规律及所涉及的临界问题、能量问题是我们学习的重点,也是难点。这些规律与实际生产、生活、科技相联系的命题已经成为一种命题趋势。

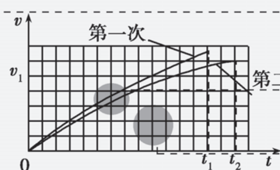
真题探秘

对应学生用书起始页码38

(2019课标Ⅱ,19,6分)(多选)如图(a),在跳台滑雪比赛中,运动员在空中滑翔时身体的姿态会影响其下落的速度和滑翔的距离。某运动员先后两次从同一跳台起跳,每次都从离开跳台开始计时,用v表示他在竖直方向的速度,其v-t图像如图(b)所示,t_1和t_2是他落在倾斜雪道上的时刻。则 ( )



图(a)



图(b)

A.第二次滑翔过程中在竖直方向上的位移比第一次的小
B.第二次滑翔过程中在水平方向上的位移比第一次的大
C.第二次滑翔过程中在竖直方向上的平均加速度比第一次的大
D.竖直方向速度大小为v_1时,第二次滑翔在竖直方向上所受阻力比第一次的大

为运动创设情景,为各个选项的两次比较和两次v-t图像埋下伏笔

两次运动位移与水平方向的夹角相同

给定第一个条件:物体做平抛运动的开始时刻

给定第二个条件:竖直方向的分运动

给定第三个条件:物体做平抛运动的时间

V-t图线为曲线,竖直方向不是匀变速直线运动

坐标系内给定小方格必有用意哦

❶ **核心要点**

v–t图像中面积和斜率的物理意义，面积的求解方法，运动的合成与分解，以及牛顿第二定律。

❷ **设问方式**

通过两次运动的v–t图像，运用图像中斜率和面积的物理意义，比较两次运动中各物理量的大小关系。

❸ **情景解读**

从实际情景中抽象出运动模型，滑雪运动可以分解为竖直方向和水平方向的两种运动模型，体现了物理来源于生活，而又高于生活。

❹ **思路分析**

根据关键信息，v–t图线与时间轴所围成的面积等于运动员竖直方向的运动位移。可用数格的办法粗略估算出两次竖直方向的位移；由几何关系可求两次水平位移的关系。v–t图线的斜率表示加速度，由图像明显看出加速度的大小关系。$v=v_1$时，斜率$k_1>k_2$，结合牛顿第二定律可以比较两次阻力的大小。

❺ **素养目标**

体现了模型建构、科学推理的核心素养。

❻ **命题规律**

选取生活中的常见情景，考查v–t图像中面积和斜率的物理意义，考查运动的合成与分解在曲线运动中的运用。

❼ **能力要求**

本题考查曲线运动知识和利用数形结合处理物理问题的能力，在实际情景中抽象物理模型的能力，从图像中获取信息的能力。

❽ **解题技巧**

v–t图线与时间轴所围的面积表示位移，当图线为曲线时，可采用数格子的方法比较面积的大小。

❾ **答案**

BD　详细解析见71页5年高考A组第1题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

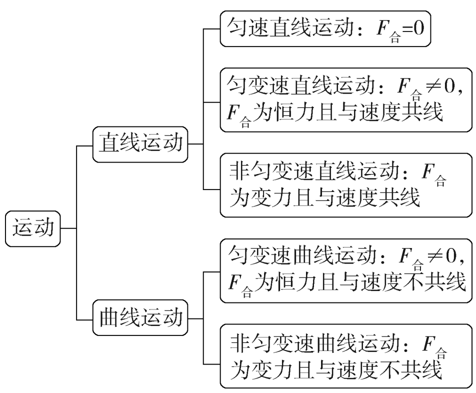
考点清单

对应学生用书起始页码 39

考点一　曲线运动、运动的合成与分解

考向基础

一、质点运动类型的分类及条件



二、曲线运动的定义、条件和特点

	曲线运动	说明
定义	轨迹是一条曲线的运动叫做曲线运动	一般曲线运动可看成是几个直线运动的合运动
条件	质点所受合外力的方向跟它的速度方向不在同一直线上($v_0\neq0$，$F\neq0$)	加速度的方向跟速度的方向不在同一直线上
特点	(1)轨迹是一条曲线 (2)某点的瞬时速度的方向，就是通过这一点的切线的方向 (3)曲线运动的速度方向时刻在改变，所以是变速运动，必具有加速度 (4)合外力F始终指向运动轨迹的内侧	(1)加速度可以是不变的，这类曲线运动是匀变速曲线运动，如平抛运动 (2)加速度可以是变化的，这类曲线运动是变加速曲线运动(或非匀变速曲线运动)，如圆周运动

三、运动的合成与分解

1.运动的合成与分运动的关系

等时性	各分运动经历的时间与合运动经历的时间相同
独立性	一个物体同时参与几个分运动，各分运动独立进行，不受其他分运动的影响
等效性	各分运动叠加起来与合运动有相同的效果

2.运动的合成与分解的运算法则

运动的合成与分解是指描述运动的各物理量即位移、速度、加速度的合成与分解。由于它们都是矢量，所以合成与分解都遵循平行四边形定则。

3.运动的合成与分解

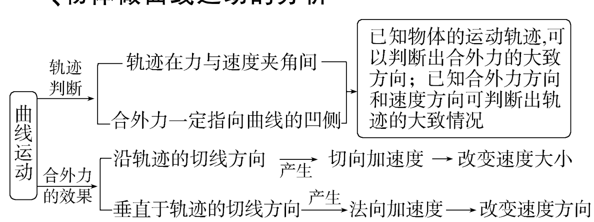
已知分运动求合运动，叫做运动的合成；已知合运动求分运动，叫做运动的分解。

分运动与合运动是一种等效替代关系，运动的合成与分解是研究曲线运动的一种基本方法。

考向突破

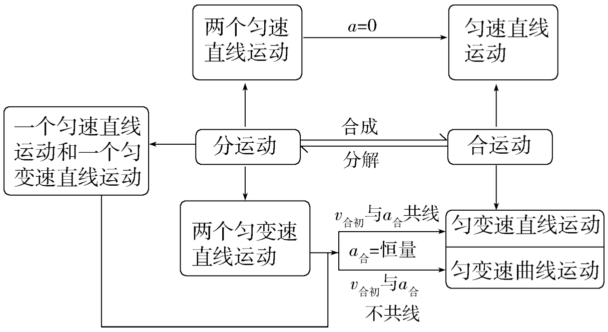
考向　曲线运动、运动的合成与分解

一、物体做曲线运动的分析

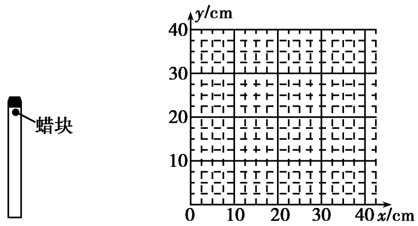


二、合运动的性质和轨迹

合运动的性质和轨迹由合初速度($v_{合初}$)和合加速度($a_合$)共同决定。



例 如图甲所示,在一端封闭、长约1 m的玻璃管内注满清水,水中放一个蜡块,将玻璃管的开口端用胶塞塞紧。然后将这个玻璃管倒置,在蜡块沿玻璃管上升的同时,将玻璃管水平向右移动。假设从某时刻开始计时,蜡块在玻璃管内每1 s上升的距离都是10 cm,玻璃管向右匀加速平移,每1 s通过的水平位移依次是2.5 cm、7.5 cm、12.5 cm、17.5 cm。图乙中y表示蜡块竖直方向的位移,x表示蜡块随玻璃管通过的水平位移,$t=0$时蜡块位于坐标原点。



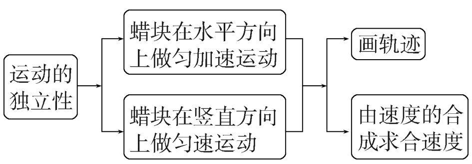
甲 乙

(1)请在图乙中画出蜡块4 s内的轨迹;

(2)求出玻璃管向右平移的加速度大小;

(3)求$t=2$ s时蜡块的速度v的大小。

解题导引



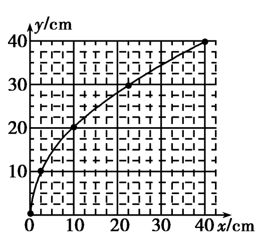
解析 (1)根据题中“蜡块在玻璃管内每1 s上升的距离都是10 cm,玻璃管向右匀加速平移,每1 s通过的水平位移依次是2.5 cm、7.5 cm、12.5 cm、17.5 cm。”描点画线。

(2)根据匀变速直线运动的规律$\Delta x=aT^2$,得玻璃管向右平移的加速度$a=\dfrac{\Delta x}{T^2}=5\times10^{-2}\ \text{m/s}^2$。

(3)$t=2$ s时,蜡块在竖直方向和水平方向的分速度分别为$v_y=\dfrac{\Delta y}{\Delta t}=0.1\ \text{m/s}$,$v_x=at=0.1\ \text{m/s}$。

此时蜡块的速度即合速度$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\dfrac{\sqrt{2}}{10}\ \text{m/s}$。

答案 (1)如图所示 (2)$5\times10^{-2}\ \text{m/s}^2$ (3)$\dfrac{\sqrt{2}}{10}\ \text{m/s}$



考点二 抛体运动

考向基础

一、平抛运动

1.平抛运动

(1)定义:水平抛出的物体只在重力作用下的运动叫做平抛运动。

(2)性质:加速度为重力加速度g的匀变速曲线运动,轨迹是抛物线。

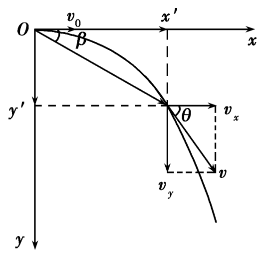
(3)研究方法:平抛运动可以分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动。

(4)运动时间和射程

$t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$仅取决于竖直下落的高度;射程$x=v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$取决于竖直下落的高度和初速度。

2.平抛运动的规律

以抛出点为坐标原点,以初速度v_0方向为x轴正方向,竖直向下为y轴正方向,如图所示,则有



水平方向分速度:$v_x=v_0$

竖直方向分速度:$v_y=gt$

合速度大小:$v=\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$

$\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_x}$($\theta$为速度与水平方向的夹角)

水平方向分位移:$x'=v_0t$

竖直方向分位移:$y'=\dfrac{1}{2}gt^2$

合位移:$x_{合}=\sqrt{x'^2+y'^2}$

$\tan\beta=\dfrac{y'}{x'}$(β为位移方向与水平方向的夹角)

二、斜抛运动

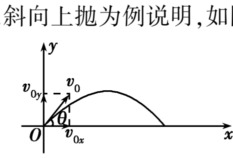
1.斜抛运动的定义

将物体以速度v_0斜向上方或斜向下方抛出,物体只在重力作用下的运动。

2.运动性质

加速度为重力加速度g的匀变速曲线运动,轨迹为抛物线。

3.基本特点(以斜向上抛为例说明,如图所示)



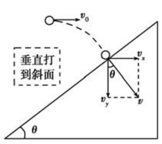
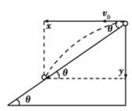
(1)水平方向:$v_{0x}=v_0\cdot\cos\theta$,$F_{合x}=0$。

(2)竖直方向:$v_{0y}=v_0\cdot\sin\theta$,$F_{合y}=mg$。

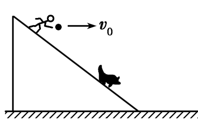
考向突破

考向　平抛运动

一、平抛运动的分解与实例

方法	内容	实例		
		斜面	求小球平抛时间	总结
分解速度	水平 $v_x=v_0$ 竖直 $v_y=gt$ 合速度 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$		解：如图，$v_y=gt$，$\tan\theta=\frac{v_x}{v_y}=\frac{v_0}{gt}$，故 $t=\frac{v_0}{g\tan\theta}$	分解速度，构建速度三角形
分解位移	水平 $x=v_0t$ 竖直 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 合位移 $x_合=\sqrt{x^2+y^2}$		解：如图，$x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$，而 $\tan\theta=\frac{y}{x}$，联立得 $t=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$	分解位移，构建位移三角形

例 1　如图所示，在倾角为 37°的斜坡上有一人，前方有一动物沿斜坡匀速向下奔跑，速度 $v=15$ m/s，在二者相距 $L=30$ m 时，此人以速度 v_0 水平抛出一石块，击打动物，人和动物都可看成质点。(已知 $\sin 37°=0.6$，$g=10$ m/s²)



(1)若动物在斜坡上被石块击中，求 v_0 的大小；

(2)若动物在斜坡末端时，动物离人的高度 $h=80$ m，此人以速度 v_1 水平抛出一石块击打动物，同时动物开始沿水平面运动，动物速度 $v=15$ m/s，动物在水平面上被石块击中的情况下，求速度 v_1 的大小。

解题导引

动物匀速运动的位移、石块与动物间的距离 →确定→ 石块的位移 →分解→ 石块的水平位移 x、石块的竖直位移 y →可求→ v_0

解析　(1)设石块运动所需时间为 t

对于动物：运动的位移 $s=vt$

对于石块：竖直方向有 $(L+s)\sin 37°=\frac{1}{2}gt^2$

水平方向有 $(L+s)\cos 37°=v_0t$

代入数据，由以上三式可得：$v_0=20$ m/s。

(2)对动物：$x_1=vt_1$，

对于石块：竖直方向有 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$，解得 $t_1=\sqrt{\frac{2h}{g}}=4$ s

水平方向有 $\frac{h}{\tan\theta}+x_1=v_1t_1$，联立可得 $v_1\approx41.7$ m/s。

答案　(1)20 m/s　(2)41.7 m/s

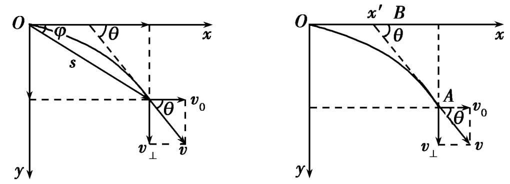
二、平抛运动的两个推论

推论一　做平抛(或类平抛)运动的物体在任一时刻任一位置处，设其末速度方向与水平方向的夹角为 θ，位移与水平方向的夹角为 φ，则 $\tan\theta=2\tan\varphi$。

证明：如图甲所示，由平抛运动规律得

$\tan\theta=\frac{v_\perp}{v_0}=\frac{gt}{v_0}$，$\tan\varphi=\frac{y}{x}=\frac{1}{2}\frac{gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$，

所以 $\tan\theta=2\tan\varphi$。



甲　　乙

推论二　做平抛(或类平抛)运动的物体任意时刻的瞬时速度的反向延长线一定通过此时水平位移的中点。如图乙中所示 B 点。

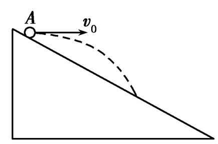
证明：设平抛物体的初速度为 v_0，从原点 O 到 A 点的时间为 t，A 点坐标为 (x,y)，B 点坐标为 $(x',0)$，则 $x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$，$v_\perp=gt$，又 $\tan\theta=\frac{v_\perp}{v_0}=\frac{y}{x-x'}$，解得 $x'=\frac{x}{2}$。

即末状态速度反向延长线与 x 轴的交点 B 必为此刻水平位移的中点。

注意　(1)在平抛运动过程中，位移矢量与速度矢量永远不会同线。

(2)推论一中的 $\tan\theta=2\tan\varphi$，但不能误认为 $\theta=2\varphi$。

例 2　如图所示，在足够长的斜面上 A 点，以水平速度 v_0 抛出一个小球，不计空气阻力，它落到斜面上所用的时间为 t_1；若将此球改用 $2v_0$ 水平速度抛出，它落到斜面上所用时间为 t_2，则 $t_1:t_2$ 为　(　　)



A.1∶1　　B.1∶2

C.1∶3　　D.1∶4

解析　斜面倾角的正切值 $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$，则运动的时间 $t=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$，知运动的时间与平抛运动的初速度有关，初速度变为原来的 2 倍，则运动时间变为原来的 2 倍，所以 $t_1:t_2=1:2$。故 B 正确，A、C、D 错误。

解法二　两小球从斜面上同一点水平抛出，落到同一斜面上，即两球的位移偏转角相同，由推论一可知，落到斜面时速度的偏转角一定相同，由 $\tan\alpha=\frac{v_y}{v_x}$，$v_y=gt$，得 $t=\frac{v_x\tan\alpha}{g}$，故 $\frac{t_1}{t_2}=\frac{v_0}{2v_0}=\frac{1}{2}$，选项 B 正确。

答案　B

考点三 圆周运动

考向基础

一、描述圆周运动的物理量

	定义、意义	公式、单位
线速度	(1)描述做圆周运动的物体运动快慢的物理量(v) (2)是矢量,方向和半径垂直,和圆周相切	a.$v=\frac{\Delta l}{\Delta t}$,$v=\frac{2\pi r}{T}$ b.单位:m/s
角速度	(1)描述物体绕圆心转动快慢的物理量(ω) (2)是矢量,但中学阶段不研究其方向	a.$\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$,$\omega=\frac{2\pi}{T}$ b.单位:rad/s
周期、频率和转速	(1)周期是物体沿圆周匀速运动一周的时间(T);周期的倒数等于频率(f) (2)转速是物体单位时间内转过的圈数(n)	a.$T=\frac{2\pi r}{v}$,单位:s b.$f=\frac{1}{T}$,单位:Hz c.n的单位:r/s、r/min
向心加速度	(1)描述速度方向变化快慢的物理量(a) (2)方向指向圆心	a.$a=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$ b.单位:m/s^2
向心力	(1)作用效果是产生向心加速度 (2)方向始终指向圆心	a.$F=ma=\frac{mv^2}{r}=m\omega^2r=m\omega v$ b.单位:N
相互关系	(1)$T=\frac{1}{f}$ (2)$v=r\omega=\frac{2\pi}{T}r=2\pi fr$ (3)$a=\frac{v^2}{r}=r\omega^2=\omega v=\frac{4\pi^2 r}{T^2}=4\pi^2f^2r$ (4)$t=\frac{\theta}{2\pi}\cdot T$	

二、离心现象

当提供的向心力小于所需向心力时,物体将远离原来的轨道的现象叫离心现象。

从力的角度分析物体的运动:

1.匀速圆周运动:$F_{合}=mr\omega^2$。

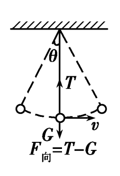
2.离心运动:$F_{合}<mr\omega^2$。

3.向心运动:$F_{合}>mr\omega^2$。

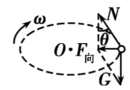
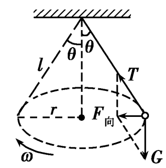
考向突破

考向 圆周运动中的动力学分析

一、做圆周运动的常见模型

单摆		①部分圆周运动 ②非匀速圆周运动 ③$F_{合}=\sqrt{F_n^2+F_\tau^2}$,只有在最低点指向圆心 ④在最低点:$v\neq0$时,$T>G$;$v=0$时,$T=G$

续表

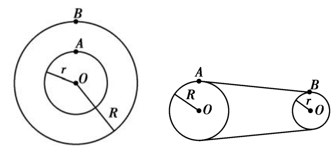
竖直平面内的圆周运动	方法技巧——方法3中有详细介绍	
火车转弯		$F_{向}=G\tan\theta$ 或 $F_{向}=N\sin\theta$ 或 $F_{向}=m\omega^2r$
圆锥摆		$F_{向}=G\tan\theta$ 或 $F_{向}=m\omega^2r$ $r=l\sin\theta$

二、常见传动装置及其特点

1.共轴传动

A点和B点在同轴的一个圆盘上,如图甲,圆盘转动时,它们的线速度、角速度、周期存在以下定量关系:

$\omega_A=\omega_B$,$\frac{v_A}{v_B}=\frac{r}{R}$,$T_A=T_B$,并且转动方向相同。



甲　　乙

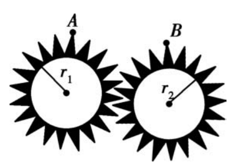
2.皮带传动

A点和B点分别是两个轮子边缘上的点,两个轮子用皮带连起来,并且皮带不打滑。如图乙,轮子转动时,它们的线速度、角速度、周期存在以下定量关系:

$v_A=v_B$,$\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{r}{R}$,$\frac{T_A}{T_B}=\frac{R}{r}$,并且转动方向相同。

3.齿轮传动

A点和B点分别是两个齿轮边缘上的点,两个齿轮轮齿啮合。如图,齿轮转动时,它们的线速度、角速度、周期存在以下定量关系:



$v_A=v_B$,$\frac{T_A}{T_B}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{n_1}{n_2}$,$\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{r_2}{r_1}=\frac{n_2}{n_1}$。

式中n_1、n_2分别表示两齿轮的齿数。两点转动方向相反。

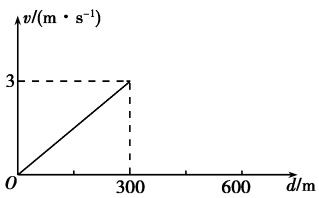
注意 在处理传动装置中各物理量间的关系时,关键是确定其相同的量(线速度或角速度),再由描述圆周运动的各物理量间的关系,确定其他各量间的关系。

考点集训

对应学生用书起始页码 43

考点一　曲线运动、运动的合成与分解

1.（2020 届四川成都树德模拟）（多选）某河宽为 600 m，河中某点的水流速度 v 与该点到较近河岸的距离 d 的关系如图所示。船在静水中的速度为 4 m/s，要想使船渡河的时间最短，下列说法正确的是　（　　）



A.船在航行过程中，船头应与河岸垂直

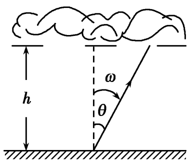
B.船在河水中航行的轨迹是一条直线

C.渡河的最短时间为 240 s

D.船离开河岸 400 m 时的速度大小为 $2\sqrt{5}$ m/s

答案　AD　本题考查了运动的合成与分解中的小船渡河模型，体现了物理观念中的运动与相互作用要素。若船渡河的时间最短，船在航行过程中，必须保证船头始终与河岸垂直，选项 A 正确；因水流的速度大小发生变化，根据运动的合成与分解可知，船在河水中航行的轨迹是一条曲线，选项 B 错误；渡河的最短时间为 $t_{min}=\frac{d}{v_{船}}=\frac{600}{4}$ s=150 s，选项 C 错误；船离开河岸 400 m 时的水流速度大小与船离开河岸 200 m 时的水流速度大小相等，即 $v_{水}=\frac{3}{300}\times200$ m/s=2 m/s，则船离开河岸 400 m 时的速度大小为 $v'=\sqrt{v_{船}^2+v_{水}^2}=\sqrt{4^2+2^2}$ m/s=$2\sqrt{5}$ m/s，选项 D 正确。

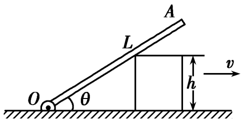
2.如图所示，一激光探照灯在竖直平面内转动时，发出的光照射在云层底面上，云层底面是与地面平行的平面，云层底面距地面高度为 h，当光束转到与竖直方向的夹角为 θ 时，云层底面上光点的移动速度是 v，则探照灯转动的角速度为　（　　）



A.$\frac{v}{h}$　　B.$\frac{v\cos\theta}{h}$　　C.$\frac{v\cos^2\theta}{h}$　　D.$\frac{v}{h\tan\theta}$

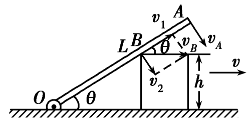
答案　C　当光束转到与竖直方向夹角为 θ 时，云层底面上光点转动的线速度为 $\frac{h\omega}{\cos\theta}$，云层底面上光点的移动速度为 v，则有 $v\cos\theta=\frac{h\omega}{\cos\theta}$，解得探照灯转动的角速度为 $\omega=\frac{v\cos^2\theta}{h}$，选项 C 正确。

3.（2019 一线名师模拟卷）如图所示，一根长为 L 的轻杆 OA，O 端用铰链固定，轻杆靠在一个高为 h 的物块上，某时刻杆与水平方向的夹角为 θ，物块向右运动的速度为 v，则此时 A 点速度为　（　　）



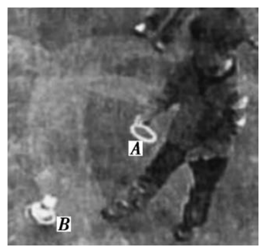
A.$\frac{Lv\sin\theta}{h}$　　B.$\frac{Lv\cos\theta}{h}$　　C.$\frac{Lv\sin^2\theta}{h}$　　D.$\frac{Lv\cos\theta}{h}$

答案　C　如图所示，根据运动的合成与分解可知，接触点 B 的实际运动为合运动，可将 B 点运动的速度 $v_B=v$ 沿垂直于杆和沿杆的方向分解成 v_2 和 v_1，其中 $v_2=v_B\sin\theta=v\sin\theta$ 为 B 点做圆周运动的线速度，$v_1=v_B\cos\theta$ 为 B 点沿杆运动的速度。当杆与水平方向夹角为 θ 时，$OB=\frac{h}{\sin\theta}$，由于 B 点的线速度为 $v_2=v\sin\theta=OB\cdot\omega$，所以 $\omega=\frac{v\sin\theta}{OB}=\frac{v\sin^2\theta}{h}$，所以 A 的线速度 $v_A=L\omega=\frac{Lv\sin^2\theta}{h}$，选项 C 正确。



考点二　抛体运动

1.（2018 安徽皖南八校联考，1）某幼儿园举行套圈比赛，图为一名儿童正在比赛，他将圈从 A 点水平抛出，圈正好套在地面上 B 点的物体上，若 A、B 间的距离为 s，A、B 两点连线与水平方向的夹角为 θ，重力加速度为 g，不计圈的大小，不计空气的阻力。则圈做平抛运动的初速度为　（　　）

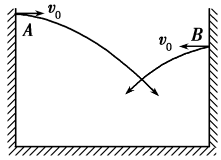


A.$\sin\theta\sqrt{\frac{gs}{2\cos\theta}}$　　B.$\cos\theta\sqrt{\frac{gs}{2\sin\theta}}$

C.$\sqrt{\frac{gs}{2}\tan\theta}$　　D.$\sqrt{\frac{gs}{2\tan\theta}}$

答案　B　由题可知，圈做平抛运动的水平位移 $x=s\cos\theta$，下落的高度 $h=s\sin\theta$，下落的时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2s\sin\theta}{g}}$，则初速度 $v_0=\frac{x}{t}=\cos\theta\sqrt{\frac{gs}{2\sin\theta}}$，选项 B 正确。

2.（2018 江西重点中学联考，10）如图所示，将 a、b 两小球以大小为 $20\sqrt{5}$ m/s 的初速度分别从 A、B 两点相差 1 s 先后水平相向抛出，a 小球从 A 点抛出后，经过时间 t，a、b 两小球恰好在空中相遇，且速度方向相互垂直，不计空气阻力，g 取 10 m/s²，则抛出点 A、B 间的水平距离是　（　　）



A.$80\sqrt{5}$ m　　B.100 m　　C.200 m　　D.$180\sqrt{5}$ m

答案　D　经过 t 时间两球在空中相遇且速度方向相互垂直，此时 b 球运动的时间为 $t-1$ s，设相遇时 a 球的速度与水平方向的夹角为 θ，根据几何关系可得 $\tan\theta=\frac{gt}{v_0}=\frac{v_0}{g(t-1\ \text{s})}$，解得 $t=5$ s，则 A、B 两点的水平距离 $x=v_0t+v_0(t-1\ \text{s})=180\sqrt{5}$ m，选项 D 正确。

3.(2020届贵州贵阳联考,10)壮壮和高高都报名参加了学校的铅球比赛项目。在比赛前,小智听到了他们以下讨论:

壮壮自豪地说:"我的力气比较大,扔出去的速度也大。所以我扔出去的铅球比你远。"

高高不服地说:"虽然我的力气比你小,扔出去的速度不如你。但我个子比你高,我比你要扔得远。"

假设壮壮和高高扔铅球的方式都是将铅球水平推出的。

(1)如果你是小智,请从物理的角度回答,铅球的远近与哪些因素有关?(不必写理由)

(2)如果高高比赛过程中能将铅球扔到 8.4 m 的地方,且高高将铅球扔出去时的速度是 14 m/s,则高高扔铅球时,铅球离地多高?(g 取 10 m/s^2)

答案 (1)铅球的远近与铅球扔出前的高度和铅球刚刚扔出时的速度有关 (2)1.8 m

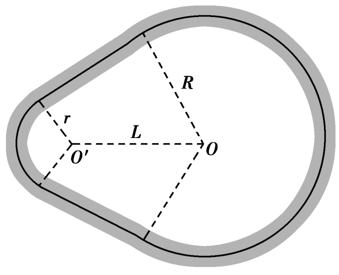
解析 本题考查了平抛运动的处理方法,体现了科学思维中的模型建构要素。

(1)由题意可知。铅球出手后做平抛运动,铅球的远近即为铅球运动的水平位移,由 $x=v_0t,h=\frac{1}{2}gt^2$,得水平位移 $x=v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$,故铅球的远近与铅球扔出前的高度和铅球刚刚扔出时的速度有关。

(2)$x=v_0t$ 得 $t=\frac{x}{v_0}=0.6$ s,抛出时的高度 $h=\frac{1}{2}gt^2=1.8$ m。

考点三 圆周运动

1.(2016浙江理综,20,6分)(多选)如图所示为赛车场的一个水平"梨形"赛道,两个弯道分别为半径 $R=90$ m 的大圆弧和 $r=40$ m 的小圆弧,直道与弯道相切。大、小圆弧圆心 O、O' 距离 $L=100$ m。赛车沿弯道路线行驶时,路面对轮胎的最大径向静摩擦力是赛车重力的 2.25 倍。假设赛车在直道上做匀变速直线运动,在弯道上做匀速圆周运动。要使赛车不打滑,绕赛道一圈时间最短(发动机功率足够大,重力加速度 $g=10$ m/s^2,$\pi=3.14$),则赛车 ( )



A.在绕过小圆弧弯道后加速

B.在大圆弧弯道上的速率为 45 m/s

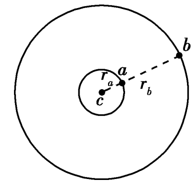
C.在直道上的加速度大小为 5.63 m/s^2

D.通过小圆弧弯道的时间为 5.58 s

答案 AB 赛车用时最短,就要求赛车通过大、小圆弧时,速度都应达到允许的最大速度,通过小圆弧时,由 $2.25mg=\frac{mv_1^2}{r}$ 得 $v_1=30$ m/s;通过大圆弧时,由 $2.25mg=\frac{mv_2^2}{R}$ 得 $v_2=45$ m/s,B 项正确。赛车从小圆弧到大圆弧通过直道时需加速,故 A 项正确。由几何关系可知连接大、小圆弧的直道长 $x=50\sqrt{3}$ m,由匀加速直线运动的速度位移公式:$v_2^2-v_1^2=2ax$ 得 $a\approx6.50$ m/s^2,C 项错误;由几何关系可得小圆弧所对圆心角为 120°,所以通过小圆弧弯道的时间 $t=\frac{1}{3}\times\frac{2\pi r}{v_1}=2.79$ s,故 D 项错误。

审题指导 首先要注意大、小圆弧半径不同,允许的最大速度不同;其次要充分利用几何关系,找出直道的长度和小圆弧所对圆心角,这样才能求出赛车在直道上的加速度和通过小圆弧弯道的时间。

2.(2019一线名卷模拟,10)如图所示,质点 a、b 在同一平面内绕质点 c 沿逆时针方向做匀速圆周运动,它们的周期之比 $T_a:T_b=1:k$($k>1$,为正整数)。从图示位置开始,在 b 运动一周的过程中 ( )



A.a、b 距离最近的次数为 k 次

B.a、b 距离最近的次数为 $k+1$ 次

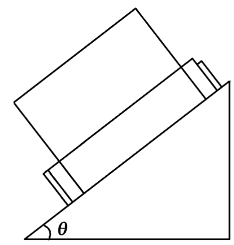
C.a、b、c 共线的次数为 $2k$ 次

D.a、b、c 共线的次数为 $2k-2$ 次

答案 D 设每隔时间 T,a、b 相距最近,则 $(\omega_a-\omega_b)T=2\pi$,所以 $T=\frac{2\pi}{\omega_a-\omega_b}=\frac{2\pi}{\frac{2\pi}{T_a}-\frac{2\pi}{T_b}}=\frac{T_aT_b}{T_b-T_a}$,故 b 运动一周的过程中,a、b 相距最近的次数为 $n=\frac{T_b}{T}=\frac{T_b-T_a}{T_a}=\frac{kT_a-T_a}{T_a}=k-1$,即 a、b 距离最近的次数为 $k-1$ 次,选项 A、B 错误。

设每隔时间 t,a、b、c 共线一次,则 $(\omega_a-\omega_b)t=\pi$,所以 $t=\frac{\pi}{\omega_a-\omega_b}=\frac{\pi}{\frac{2\pi}{T_a}-\frac{2\pi}{T_b}}=\frac{T_aT_b}{2(T_b-T_a)}$,故 b 运动一周的过程中,a、b、c 共线的次数为 $n'=\frac{T_b}{t}=\frac{2(T_b-T_a)}{T_a}=\frac{2kT_a-2T_a}{T_a}=2k-2$,选项 C 错误,选项 D 正确。

3.(2020届东北三校联考,10)质量为 100 t 的火车在轨道上行驶,火车内外轨连线与水平面的夹角为 $\theta=37°$,如图所示,弯道半径 $R=30$ m。问:(g 取 10 m/s^2,计算结果均保留两位有效数字)



(1)当火车的速度为 $v_1=10$ m/s 时,轨道受到的侧压力为多大?方向如何?

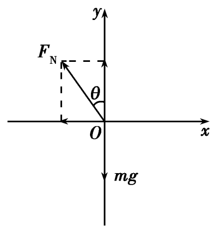
(2)当火车的速度为 $v_2=20$ m/s 时,轨道受到的侧压力为多大?方向如何?

答案 (1)3.3×10^5 N,方向沿轴指向内侧

(2)4.7×10^5 N,方向沿轴指向外侧

解析 本题考查了生活中的圆周运动问题,体现了科学思维中模型建构要素。

设火车转弯时刚好对铁轨无侧压力,速度为 v_0,以火车为研究对象,受力如图所示,则有:



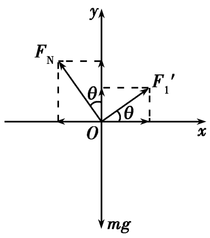
甲

$F_N \sin\theta = m\dfrac{v_0^2}{R}$

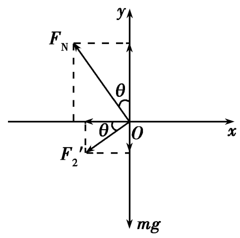
$F_N \cos\theta = mg$

得 $v_0 = \sqrt{gR\tan\theta} = 15\ \text{m/s}$

(1) $v_1<v_0$,由于半径不变,需减小向心力,则轨道内侧铁轨将受到一个沿车轴方向的侧压力 F_1,车受力如图乙所示,则有:



乙



丙

$F_N \sin\theta - F_1' \cos\theta = m\dfrac{v_1^2}{R}$

$F_N \cos\theta + F_1' \sin\theta = mg$

得 $F_1' = mg\sin\theta - m\dfrac{v_1^2}{R}\cos\theta = 3.3\times10^5\ \text{N}$

由牛顿第三定律知:$F_1 = F_1' = 3.3\times10^5\ \text{N}$,方向沿轴指向内侧。

(2) $v_2>v_0$,由于半径不变,需增加向心力,则轨道外侧铁轨将受到一个沿轴的侧压力 F_2,此种情况下,车受力情况如图丙所示,则有:

$F_N \sin\theta + F_2' \cos\theta = m\dfrac{v_2^2}{R}$

$F_N \cos\theta - F_2' \sin\theta = mg$

得 $F_2' = m\dfrac{v_2^2}{R}\cos\theta - mg\sin\theta = 4.7\times10^5\ \text{N}$

由牛顿第三定律知:$F_2 = F_2' = 4.7\times10^5\ \text{N}$,方向沿轴指向外侧。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧

对应学生用书起始页码 45

方法 1 小船过河问题的处理方法

小船在有一定流速的水中过河时,实际上参与了两个方向的分运动,即随水流的运动(水冲船的运动)和船相对静水的运动,船的实际运动是合运动。

例 1 一条宽度为 l 的河流,已知船在静水中的速度为 $v_{船}$,水流速度为 $v_{水}$。那么:

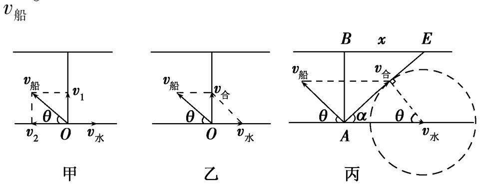
(1)怎样渡河时间最短?

(2)若 $v_{船}>v_{水}$,怎样渡河位移最小?

(3)若 $v_{船}<v_{水}$,怎样渡河船漂下的距离最短?

解析 (1)如图甲所示,设船头斜向上游与河岸成任意角 θ,这时船速在垂直于河岸方向的速度分量为 $v_1 = v_{船}\sin\theta$,渡河所需的时间为 $t=\dfrac{l}{v_1}=\dfrac{l}{v_{船}\sin\theta}$。

可以看出:l、$v_{船}$ 一定时,t 随 $\sin\theta$ 增大而减小;当 $\theta=90°$ 时,$\sin\theta=1$(最大)。所以可得,船头与河岸垂直时渡河时间最短,即 $t_{min}=\dfrac{l}{v_{船}}$。



甲 乙 丙

(2)如图乙所示,渡河的最小位移即河的宽度,为了使渡河位移等于 l,必须使船的合速度 $v_{合}$ 的方向与河岸垂直。这时船头应指向河的上游,并与河岸成一定的角度 θ。根据三角函数关系有 $v_{船}\cos\theta - v_{水}=0$,得 $\cos\theta=\dfrac{v_{水}}{v_{船}}$

因为 $0\leqslant\cos\theta<1$,所以只有在 $v_{船}>v_{水}$ 时,船才有可能垂直河岸渡河。

(3)如果水流速度大于船在静水中的航行速度,则不论船的航向如何,总是被水冲向下游。怎样才能使漂下的距离最短呢?如图丙所示,设 $v_{船}$ 与河岸成 θ 角。合速度 $v_{合}$ 与河岸成 α 角。可以看出:α 角越大,船漂下的距离 x 越短。那么,在什么条件下 α 角最大呢?以 $v_{水}$ 的末端为圆心、$v_{船}$ 大小为半径画圆,当 $v_{合}$ 与圆相切时,α 角最大,此时 $\cos\theta=\dfrac{v_{船}}{v_{水}}$

船漂下的最短距离为

$x_{min}=(v_{水}-v_{船}\cos\theta)\cdot\dfrac{l}{v_{船}\sin\theta}$,

此时渡河的最短位移大小为

$s=\dfrac{l}{\cos\theta}=\dfrac{lv_{水}}{v_{船}}$。

答案 见解析

方法 2 绳(杆)端速度分解的处理方法

像绳、杆等这些有长度的物体,在运动过程中,两端点的速度通常是不一样的,但两端点的速度是有联系的,称之为“关联”速度,“关联”速度的关系——沿绳(或杆)的速度分量大小相等。处理此类问题的一般步骤如下

第一步:看和绳(或杆)末端相接触的物体(或点)的速度方向与绳(或杆)的关系

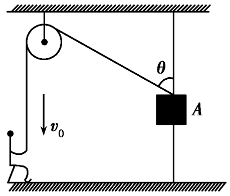
↓

第二步:①如果物体(或点)的速度方向与绳(或杆)共线,则物体(或点)的速度与绳(或杆)速度相等
②如果物体(或点)的速度方向与绳(或杆)不共线即有夹角θ,则将物体(或点)的速度分解在沿绳(或杆)方向和垂直于绳(或杆)方向

↓

第三步:在同一根绳(或杆)方向上的分速度大小相等

例2 人用绳子通过定滑轮拉物体 A,A 穿在光滑的竖直杆上,当以速度 v_0 匀速地拉绳使物体 A 到达如图所示位置时,绳与竖直杆的夹角为 θ,则物体 A 实际运动的速度是 ( )

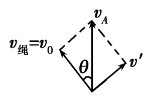


A.$v_0\sin\theta$　B.$\dfrac{v_0}{\sin\theta}$　C.$v_0\cos\theta$　D.$\dfrac{v_0}{\cos\theta}$

解题导引

A的速度方向与绳间夹角为 θ —分解→ 沿绳方向 → v_0；垂直绳方向

解析 由运动的合成与分解可知,物体 A 参与这样的两个分运动,一个是沿着与它相连接的绳子的运动,另一个是垂直于绳子斜向上的运动。而物体 A 实际运动是沿着竖直杆向上运动,此运动就是物体 A 的合运动,合速度与分速度之间的关系如图所示。由三角函数知识可得 $v_A=\dfrac{v_0}{\cos\theta}$,所以 D 选项是正确的。

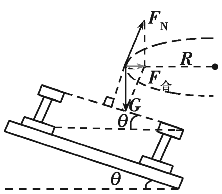


答案 D

方法3 圆周运动的临界问题的处理

1."火车转弯"问题

在火车转弯处,让外轨高于内轨,如图所示,转弯时火车所需向心力由重力和弹力的合力提供。



设车轨间距为 L,两轨高度差为 h,火车转弯半径为 R,质量为 M 的火车运行时应当有多大的速度?

据三角形边角关系知 $\sin\theta=\dfrac{h}{L}$,对火车的受力情况分析得 $\tan\theta=\dfrac{F_合}{G}=\dfrac{F_合}{Mg}$。

因为 θ 角很小,所以 $\sin\theta=\tan\theta$,故 $\dfrac{h}{L}=\dfrac{F_合}{Mg}$,所以向心力 $F_向=F_合=\dfrac{h}{L}Mg$。又因为 $F_合=\dfrac{Mv^2}{R}$,所以车速 $v=\sqrt{\dfrac{ghR}{L}}$。

由于铁轨建成后 h、L、R 各量是确定的,故火车转弯时的车速应是一个定值,否则将对铁轨有不利影响,如:

(1)火车在弯道处的速度大于 $\sqrt{\dfrac{ghR}{L}}$,重力和支持力的合力不足以充当火车做圆周运动需要的向心力,火车要挤压外侧车轨,外侧车轨受挤压发生形变产生弹力,补充不足的向心力。

(2)火车在弯道处的速度小于 $\sqrt{\dfrac{ghR}{L}}$,重力和支持力的合力大于火车做圆周运动需要的向心力,火车就要挤压内侧车轨,内侧车轨受挤压发生形变产生弹力,抵消一部分重力和支持力的合力。

例3 表格所示是铁路设计人员技术手册中弯道半径 r 及与之对应的轨道高度差 h 的部分数据。

弯道半径 r/m	660	330	220	165	132	110
内、外轨高度差 h/mm	50	100	150	200	250	300

(1)根据表中的数据,试写出 h 和 r 关系的表达式,并求出当 $r=440$ m 时,h 的设计值;

(2)铁路建成后,火车通过弯道时,为保证安全,要求内、外轨道均不向车轮施加侧向压力,已知我国铁路内、外轨的间距设计值为 $L=1\ 435$ mm,结合表中数据,算出我国火车的转弯速率 v(以 km/h 为单位,结果取整数,路轨倾角很小时,正切值按正弦值处理)。

解题导引

通过表中数据分析得出 $hr=33\ \text{m}^2$ → 将 $r=440$ m代入,求出 h 值

对火车进行受力分析,由合力充当向心力知 $mg\tan\alpha=\dfrac{mv^2}{r}$；$\tan\alpha\approx\sin\alpha=\dfrac{h}{L}$ → 求出 v

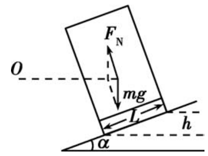
解析 (1)分析表中数据得每组的 h 与 r 之积均相等,有 $h_1r_1=660\times50\times10^{-3}\ \text{m}^2=33\ \text{m}^2$

即 $hr=33\ \text{m}^2$

当 $r=440$ m 时,将数据代入上式可得

$h=75$ mm。

(2)转弯时,当内外轨对车轮没有侧向压力时,火车的受力如图所示:



由牛顿第二定律得 $mg\tan\alpha=m\dfrac{v^2}{r}$

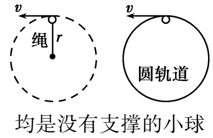
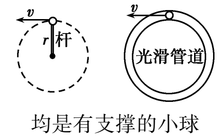
因为 α 很小,有 $\tan\alpha\approx\sin\alpha=\dfrac{h}{L}$

由以上两式可得 $v=\sqrt{\dfrac{ghr}{L}}=\sqrt{\dfrac{9.8\times33}{1\ 435\times10^{-3}}}$ m/s ≈15 m/s $=54$ km/h。

答案 (1)见解析 (2)54 km/h

2.对竖直平面内圆周运动的分析

(1)物体在竖直平面内做的圆周运动是一种典型的变速曲线运动,该类运动常有临界问题,题目中常伴有"最大""最小""刚好"等词语,常分析两种模型——轻绳模型和轻杆模型,分析比较如下。

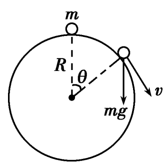
	轻绳模型	轻杆模型
常见类型	 均是没有支撑的小球	 均是有支撑的小球
过最高点的临界条件	由 $mg=m\dfrac{v_{临}^2}{r}$ 得 $v_{临}=\sqrt{gr}$	由小球恰能运动即可得 $v_{临}=0$

续表

	轻绳模型	轻杆模型
讨论分析	(1)过最高点时,$v\geq\sqrt{gr}$,$F_N+mg=m\dfrac{v^2}{r}$,绳、轨道对球产生弹力 F_N (2)不能过最高点,$v<\sqrt{gr}$,在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道	(1)当 $v=0$ 时,$F_N=mg$,F_N 为支持力,沿半径背离圆心 (2)当 $0<v<\sqrt{gr}$ 时,$mg-F_N=m\dfrac{v^2}{r}$,F_N 背离圆心,随 v 的增大而减小 (3)当 $v=\sqrt{gr}$ 时,$F_N=0$ (4)当 $v>\sqrt{gr}$ 时,$F_N+mg=m\dfrac{v^2}{r}$,F_N 指向圆心并随 v 的增大而增大

(2)竖直圆的有关脱轨问题

脱轨可分为外侧脱轨与内侧脱轨两种情况。



脱轨的条件为物体与轨道之间的作用力为零。

如图小球(m)从圆轨道最高点由静止滑下,小球在何处脱离轨道?

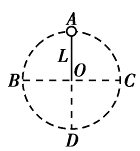
设夹角为 θ 时开始脱轨,则满足关系:

$$\begin{cases} mgR(1-\cos\theta)=\dfrac{1}{2}mv^2 \\ mg\cos\theta=m\dfrac{v^2}{R} \end{cases}$$

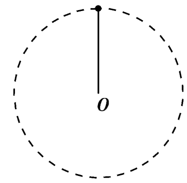
得 $\cos\theta=\dfrac{2}{3}$

(3)有关竖直平面内的圆周运动的几点说明

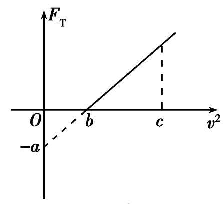
如图所示,若小球在细绳的拉力作用下,恰能在竖直平面内做圆周运动,应满足:$v_A=\sqrt{gL}$,$v_D=\sqrt{5gL}$,$T_A=0$,$T_D=6mg$,若小球由 B 或 C 处静止释放则满足:$v_D=\sqrt{2gL}$,$T_D=3mg$,T_D 的大小与绳子的长短无关,只与 m 的大小有关。



例 4 (2020 届甘肃兰州模拟,10)如图甲所示,用一轻质绳拴着一质量为 m 的小球,在竖直平面内做圆周运动(不计一切阻力),小球运动到最高点时绳对小球的拉力为 F_T,小球在最高点的速度大小为 v,其 F_T-v^2 图像如图乙所示,则　　(　　)



甲



乙

A.轻质绳长为 $\dfrac{mb}{a}$

B.当地的重力加速度为 $\dfrac{a}{m}$

C.当 $v^2=c$ 时,轻质绳最高点拉力大小为 $\dfrac{ac}{b}+a$

D.若 $v^2=b$,小球运动到最低点时绳的拉力为 $6a$

解题导引

在最高点对小球受力分析 →(由牛顿第二定律)→ 列方程 → 求出拉力的数学表达式 → 结合图像确定出相关量

解析　本题考查了竖直面内圆周运动的细绳模型,体现了科学思维中的模型建构要素。在最高点,$F_T+mg=m\dfrac{v^2}{L}$,解得 $F_T=m\dfrac{v^2}{L}-mg$,可知纵截距的绝对值为 $a=mg$,$g=\dfrac{a}{m}$,图线的斜率 $k=\dfrac{a}{b}=\dfrac{m}{L}$,解得绳子的长度 $L=\dfrac{mb}{a}$,故 A、B 正确;当 $v^2=c$ 时,轻质绳的拉力大小为 $F_{Tc}=m\dfrac{c}{L}-mg=\dfrac{ac}{b}-a$,故 C 错误;当 $v^2=b$ 时拉力为零,到最低点时根据动能定理得 $2mgL=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv^2$,根据牛顿第二定律得 $F_T'-mg=m\dfrac{v_2^2}{L}$,联立可得拉力为 $F_T'=6mg=6a$,故 D 正确。

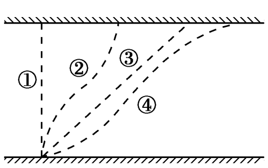
答案　ABD

方法集训

对应学生用书起始页码 48

方法 1　小船过河问题的处理方法

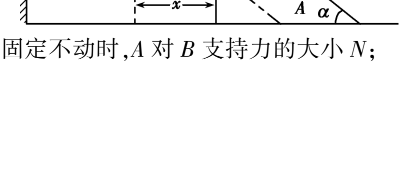
1.(2020 届四川新津摸底)如图所示,大河的两岸笔直且平行,现保持快艇船头始终垂直于河岸从岸边某处开始先匀加速而后匀速驶向对岸,在快艇离对岸还有一段距离时开始减速,最后安全靠岸。若河水以稳定的速度沿平行河岸方向流动,且整个河流中水的流速处处相等,则快艇实际运动的轨迹可能是图中的　　(　　)



A.①　　B.②　　C.③　　D.④

答案　D　本题考查了运动合成与分解中的小船渡河模型,体现了科学思维中的模型建构要素。在垂直于河岸方向上先做匀加速运动,即合力沿垂直于河岸方向并指向要驶向的对岸,且指向轨迹的内侧,然后做匀速运动,轨迹是一条与河岸有夹角的直线,再做减速运动,合力沿垂直于河岸方向并指向驶出的河岸,所以轨迹为④,故 D 正确。

2.(2016 江苏单科,14,16 分)如图所示,倾角为 α 的斜面 A 被固定在水平面上,细线的一端固定于墙面,另一端跨过斜面顶端的小滑轮与物块 B 相连,B 静止在斜面上。滑轮左侧的细线水平,右侧的细线与斜面平行。A、B 的质量均为 m。撤去固定 A 的装置后,A、B 均做直线运动。不计一切摩擦,重力加速度为 g。求:



(1)A 固定不动时,A 对 B 支持力的大小 N;

(2)A滑动的位移为x时,B的位移大小s;

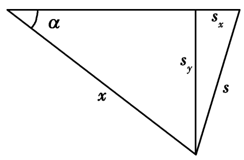
(3)A滑动的位移为x时的速度大小v_A。

答案　(1)$mg\cos\alpha$　(2)$\sqrt{2(1-\cos\alpha)}\cdot x$

(3)$\sqrt{\dfrac{2gx\sin\alpha}{3-2\cos\alpha}}$

解析　(1)支持力的大小$N=mg\cos\alpha$

(2)根据几何关系$s_x=x\cdot(1-\cos\alpha)$,$s_y=x\cdot\sin\alpha$且$s=\sqrt{s_x^2+s_y^2}$



解得$s=\sqrt{2(1-\cos\alpha)}\cdot x$

(3)B的下降高度$s_y=x\cdot\sin\alpha$

根据机械能守恒定律$mgs_y=\dfrac{1}{2}mv_A^2+\dfrac{1}{2}mv_B^2$

根据速度的定义得$v_A=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$,$v_B=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

则$v_B=\sqrt{2(1-\cos\alpha)}\cdot v_A$

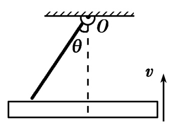
解得$v_A=\sqrt{\dfrac{2gx\sin\alpha}{3-2\cos\alpha}}$

解题指导　本题中有物体平衡、曲线运动及功和能的关系等知识点,在第(1)问中运用力的合成或分解,在第(2)问中用运动(位移)的合成,在第(3)问中用机械能守恒进行求解。

疑难突破　考生必须要将A、B的运动过程分析得非常清楚,能看出物块B的s_x、s_y分别为多少。还要知道B减少的重力势能转化为A、B共同的动能。

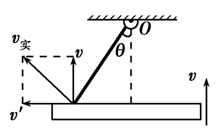
方法2　绳(杆)端速度分解的处理方法

1.如图所示,长为L的直棒一端可绕固定轴O转动,另一端搁在水平升降台上,升降台以速度v匀速上升,当棒与竖直方向的夹角为θ时,棒的角速度为　(　　)



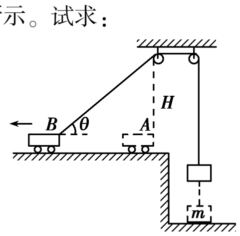
A.$\dfrac{v\sin\theta}{L}$　　B.$\dfrac{v}{L\cos\theta}$　　C.$\dfrac{v\cos\theta}{L}$　　D.$\dfrac{v}{L\sin\theta}$

答案　**D**　棒与升降台接触点的实际运动即合运动方向是垂直于棒指向左上方,如图所示。



合速度$v_实=\omega L$,沿竖直向上方向上的速度分量等于v,则$v_实\sin\theta=\omega L\sin\theta=v$,所以$\omega=\dfrac{v}{L\sin\theta}$,选项A、B、C均错、D正确。

2.一辆车通过一根跨过定滑轮的轻绳提升一个质量为m的重物,开始车在滑轮的正下方,绳子的端点离滑轮的距离是H。车由静止开始向左做匀加速运动,经过时间t,绳子与水平方向的夹角为θ,如图所示。试求:



(1)车向左运动的加速度的大小;

(2)重物在t时刻速度的大小。

答案　(1)$\dfrac{2H}{t^2\tan\theta}$　(2)$\dfrac{2H\cos\theta}{t\tan\theta}$

解析　(1)车在时间t内向左运动的位移$x=\dfrac{H}{\tan\theta}$

由车做匀加速运动,得$x=\dfrac{1}{2}at^2$

解得$a=\dfrac{2x}{t^2}=\dfrac{2H}{t^2\tan\theta}$。

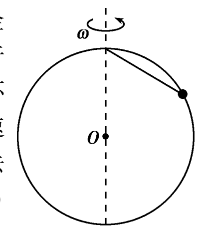
(2)车的速度$v_车=at=\dfrac{2H}{t\tan\theta}$

由运动的分解知识可知,车的速度$v_车$沿绳的分速度与重物的速度相等,即$v_物=v_车\cos\theta$

解得$v_物=\dfrac{2H\cos\theta}{t\tan\theta}$。

方法3　圆周运动的临界问题的处理

1.(多选)如图所示,置于竖直面内的光滑金属圆环半径为r,质量为m的带孔小球穿于环上,同时有一长为r的细绳一端系于圆环最高点,另一端系于小球上,当圆环以角速度$\omega(\omega\neq0)$绕竖直直径转动时,下列说法正确的是　(　　)



A.细绳对小球的拉力可能为零

B.细绳和金属圆环对小球的作用力大小可能相等

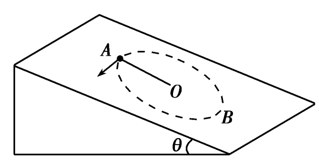
C.细绳对小球拉力与小球的重力大小不可能相等

D.当$\omega=\sqrt{\dfrac{2g}{r}}$时,金属圆环对小球的作用力为零

答案　**CD**　因为圆环光滑,小球不受摩擦力,小球受重力、绳子的拉力、环对球的弹力,根据几何关系可知,此时细绳与竖直方向的夹角为60°,当圆环旋转时,小球绕竖直轴做圆周运动,则有$T\cos60°+N\cos60°=mg$,$T\sin60°-N\sin60°=m\omega^2r\sin60°$,解得$T=mg+\dfrac{1}{2}m\omega^2r$,$N=mg-\dfrac{1}{2}m\omega^2r$,当$\omega=\sqrt{\dfrac{2g}{r}}$时,金属圆环对小球的作用力$N=0$。综上可知C、D正确,A、B错误。

名师点睛　解题的关键是确定圆周运动向心力的来源,运用牛顿第二定律进行求解。

2.(2020届江西吉安一中段考,5)如图所示,在倾角$\theta=30°$的光滑斜面上,长为L的细线一端固定,另一端连接质量为m的小球,小球在斜面上做圆周运动,A、B分别是圆弧的最高点和最低点,若小球在A、B点做圆周运动的最小速度分别为v_A、v_B,重力加速度为g,则　(　　)



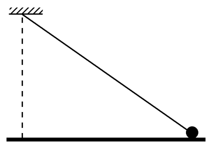
A.$v_A=0$　　B.$v_A=\sqrt{gL}$

C.$v_B=\dfrac{1}{2}\sqrt{10gL}$　　D.$v_B=\sqrt{3gL}$

答案　**C**　本题考查了用竖直面内的圆周运动的临界解题法解决斜面上的圆周运动,体现了科学思维中模型建构要素。在A点,对小球,临界情况是绳子的拉力为零,小球靠重力沿斜面方向的分力提供向心力,根据牛顿第二定律得$mg\sin\theta=m\dfrac{v_A^2}{L}$,解得$A$点的最小速度为$v_A=\sqrt{\dfrac{1}{2}gL}$,对$A\to B$段过程研究,根据机械能守恒得$\dfrac{1}{2}mv_A^2+mg\cdot2L\sin30°=\dfrac{1}{2}mv_B^2$,解得$B$

点的最小速度为 $v_B=\sqrt{\dfrac{5gL}{2}}=\dfrac{1}{2}\sqrt{10gL}$，故 C 正确，A、B、D 错误。

3. 如图所示，长为 $l=1$ m 的绳子下端连着质量为 $m=1$ kg 的小球，上端悬于天花板上，把绳子拉直，绳子与竖直方向夹角为 60°，此时小球静止于光滑的水平桌面上。问：($g=10$ m/s^2)

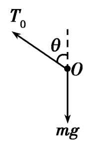


(1) 当球以 $\omega_1=4$ rad/s 做圆锥摆运动时，绳子的张力 T_1 为多大？桌面受到的压力 N_1 为多大？

(2) 当球以 $\omega_2=6$ rad/s 做圆锥摆运动时，绳子的张力 T_2 及桌面受到的压力 N_2 各为多大？

答案　(1) 16 N　2 N　(2) 36 N　0

解析　当小球刚好与桌面接触时，受力如图甲所示，则

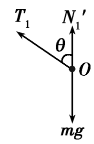


甲

$$\begin{cases}T_0\sin\theta=m\omega_0^2 l\sin\theta\\ T_0\cos\theta=mg\end{cases}$$

得临界角速度 $\omega_0=\sqrt{\dfrac{g}{l\cos\theta}}=2\sqrt{5}$ rad/s

(1) $\omega_1<\omega_0$，故小球受力如图乙所示，则



乙

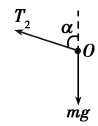
$$\begin{cases}T_1\sin\theta=m\omega_1^2 l\sin\theta\\ T_1\cos\theta+N_1'=mg\end{cases}$$

绳子的张力 $T_1=m\omega_1^2 l=16$ N

桌面对小球的支持力 $N_1'=mg-T_1\cos\theta=2$ N

由牛顿第三定律得，桌面受到的压力 $N_1=N_1'=2$ N

(2) $\omega_2>\omega_0$，小球离开桌面，设绳子与竖直方向夹角为 α，小球受力如图丙所示，则



丙

$T_2\sin\alpha=m\omega_2^2 l\sin\alpha$

绳子的张力 $T_2=m\omega_2^2 l=36$ N

由于小球脱离桌面，故桌面受到的压力 $N_2=0$

2015-2019 5年高考　对应学生用书起始页码 222

A 组　基础题组

1. (2019 课标Ⅱ，19，6 分)(多选) 如图(a)，在跳台滑雪比赛中，运动员在空中滑翔时身体的姿态会影响其下落的速度和滑翔的距离。某运动员先后两次从同一跳台起跳，每次都从离开跳台开始计时，用 v 表示他在竖直方向的速度，其 $v-t$ 图像如图(b)所示，t_1 和 t_2 是他落在倾斜雪道上的时刻。则　(　　)

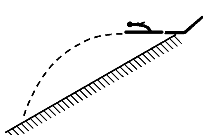


图 (a)

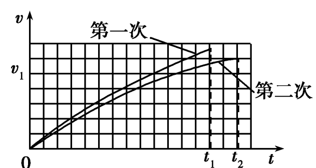


图 (b)

A. 第二次滑翔过程中在竖直方向上的位移比第一次的小

B. 第二次滑翔过程中在水平方向上的位移比第一次的大

C. 第二次滑翔过程中在竖直方向上的平均加速度比第一次的大

D. 竖直方向速度大小为 v_1 时，第二次滑翔在竖直方向上所受阻力比第一次的大

答案　BD　本题考查曲线运动知识和利用数形结合处理物理问题的能力，体现了模型建构、科学推理的核心素养。

$v-t$ 图线与时间轴包围的面积表示运动员在竖直方向上的位移，由图像可知第二次包围的格数较多，故 A 错。设雪道的倾角为 θ，则水平位移 $x=\dfrac{y}{\tan\theta}$，故 B 正确。$v-t$ 图线的斜率表示加速度，由图像明显看出，第一次在竖直方向上的平均加速度较大，故 C 错。$v=v_1$ 时，斜率 $k_1>k_2$，结合牛顿第二定律 $mg-f=ma$ 可知，第二次所受阻力较大，D 正确。

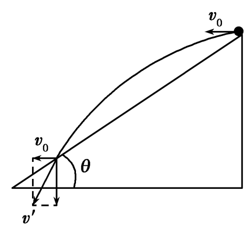
解题技巧　$v-t$ 图线与时间轴所围的面积表示位移，当图线为曲线时，可采用数格子的方法比较面积的大小。

2. (2018 课标Ⅲ，17，6 分) 在一斜面顶端，将甲、乙两个小球分别以 v 和 $\dfrac{v}{2}$ 的速度沿同一方向水平抛出，两球都落在该斜面上。甲球落至斜面时的速率是乙球落至斜面时速率的　(　　)

A. 2 倍　　B. 4 倍

C. 6 倍　　D. 8 倍

答案　A　本题考查平抛运动规律的应用。小球做平抛运动，其运动轨迹如图所示。设斜面的倾角为 θ。



平抛运动可以分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动，$x=v_0t$，$h=\dfrac{1}{2}gt^2$，由图中几何关系，可得 $\tan\theta=\dfrac{h}{x}$，解得：$t=\dfrac{2v_0\tan\theta}{g}$；

从抛出到落到斜面上，由动能定理可得：

$mgh=\dfrac{1}{2}mv'^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$，可得：$v'=\sqrt{v_0^2+2gh}=\sqrt{1+4\tan^2\theta}\cdot v_0$，

则 $\dfrac{v_甲'}{v_乙'}=\dfrac{v_{0甲}}{v_{0乙}}=\dfrac{v}{\dfrac{v}{2}}=\dfrac{2}{1}$，选项 A 正确。

一题多解　本题还可以将落到斜面上时的速度 v' 进行分解，由

图中几何关系可得 $v'=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}=\sqrt{1+4\tan^2\theta}\cdot v_0$,则$\dfrac{v_甲'}{v_乙'}=\dfrac{v_{0甲}}{v_{0乙}}=\dfrac{v}{\frac{v}{2}}=\dfrac{2}{1}$,选项 A 正确。

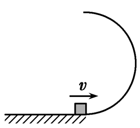
3.(2015 广东理综,14,4 分) 如图所示,帆板在海面上以速度 v 朝正西方向运动,帆船以速度 v 朝正北方向航行。以帆板为参照物 ( )



A.帆船朝正东方向航行,速度大小为 v
B.帆船朝正西方向航行,速度大小为 v
C.帆船朝南偏东 45°方向航行,速度大小为 $\sqrt{2}v$
D.帆船朝北偏东 45°方向航行,速度大小为 $\sqrt{2}v$

答案 D 以帆板为参照物时,帆船相对于帆板同时具有向正北的速度 v 与向正东的速度 v,故由平行四边形定则可知,帆船相对于帆板的速度大小为$\sqrt{2}v$,方向为北偏东 45°,D 正确。

4.(2017 课标Ⅱ,17,6 分) 如图,半圆形光滑轨道固定在水平地面上,半圆的直径与地面垂直。一小物块以速度 v 从轨道下端滑入轨道,并从轨道上端水平飞出,小物块落地点到轨道下端的距离与轨道半径有关,此距离最大时对应的轨道半径为(重力加速度大小为 g) ( )



A.$\dfrac{v^2}{16g}$ B.$\dfrac{v^2}{8g}$ C.$\dfrac{v^2}{4g}$ D.$\dfrac{v^2}{2g}$

答案 B 本题考查机械能守恒定律、平抛运动。小物块由最低点到最高点的过程由机械能守恒定律有

$\dfrac{1}{2}mv^2=mg\cdot 2R+\dfrac{1}{2}mv_1^2$

小物块从最高点水平飞出做平抛运动

有:$2R=\dfrac{1}{2}gt^2$

$x=v_1t$(x 为落地点到轨道下端的距离)

联立得:$x^2=\dfrac{4v^2}{g}R-16R^2$

当 $R=-\dfrac{b}{2a}$,即 $R=\dfrac{v^2}{8g}$时,x 具有最大值,选项 B 正确。

解题关键 小物块运动的过程分为两个阶段,一是由轨道最低点到轨道最高点的曲线运动,符合机械能守恒定律;二是从轨道最高点到水平地面的平抛运动。根据两个阶段列方程,联立得出关于 x 的表达式是解题的关键。

5.(2018 江苏单科,6,4 分)(多选)火车以 60 m/s 的速率转过一段弯道,某乘客发现放在桌面上的指南针在 10 s 内匀速转过了约 10°。在此 10 s 时间内,火车 ( )

A.运动路程为 600 m B.加速度为零
C.角速度约为 1 rad/s D.转弯半径约为 3.4 km

答案 AD 本题考查匀速圆周运动。火车的角速度 $\omega=\dfrac{\theta}{t}=\dfrac{\frac{2\pi\times 10}{360}}{10}$ rad/s$=\dfrac{\pi}{180}$ rad/s,选项 C 错误;火车做匀速圆周运动,其受到的合外力等于向心力,加速度不为零,选项 B 错误;火车在 10 s 内运动路程 $s=vt=600$ m,选项 A 正确;火车转弯半径 $R=\dfrac{v}{\omega}=\dfrac{60}{\frac{\pi}{180}}$ m≈3.4 km,选项 D 正确。

解题指导 解答本题的突破口为"指南针在 10 s 内匀速转过了约 10°",从中求出火车做匀速圆周运动的角速度。

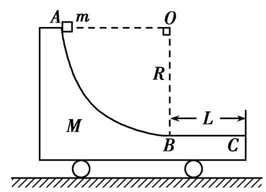
6.(2015 福建理综,21,19 分) 如图,质量为 M 的小车静止在光滑水平面上,小车 AB 段是半径为 R 的四分之一圆弧光滑轨道,BC 段是长为 L 的水平粗糙轨道,两段轨道相切于 B 点。一质量为 m 的滑块在小车上从 A 点由静止开始沿轨道滑下,重力加速度为 g。

(1)若固定小车,求滑块运动过程中对小车的最大压力;

(2)若不固定小车,滑块仍从 A 点由静止下滑,然后滑入 BC 轨道,最后从 C 点滑出小车。已知滑块质量 $m=\dfrac{M}{2}$,在任一时刻滑块相对地面速度的水平分量是小车速度大小的 2 倍,滑块与轨道 BC 间的动摩擦因数为 μ,求:

①滑块运动过程中,小车的最大速度大小 v_m;

②滑块从 B 到 C 运动过程中,小车的位移大小 s。



答案 (1)$3mg$

(2)①$\sqrt{\dfrac{gR}{3}}$ ②$\dfrac{1}{3}L$

解析 (1)滑块滑到 B 点时对小车压力最大,从 A 到 B 机械能守恒

$mgR=\dfrac{1}{2}mv_B^2$ ①

滑块在 B 点处,由牛顿第二定律

$N-mg=m\dfrac{v_B^2}{R}$ ②

解得 $N=3mg$ ③

由牛顿第三定律 $N'=3mg$ ④

(2)①滑块下滑到达 B 点时,小车速度最大。由系统的机械能守恒

$mgR=\dfrac{1}{2}Mv_m^2+\dfrac{1}{2}m(2v_m)^2$ ⑤

解得 $v_m=\sqrt{\dfrac{gR}{3}}$ ⑥

②设滑块运动到 C 点时,小车速度大小为 v_C,由功能关系

$mgR-\mu mgL=\dfrac{1}{2}Mv_C^2+\dfrac{1}{2}m(2v_C)^2$ ⑦

设滑块从 B 到 C 过程中,小车运动加速度大小为 a,由牛顿第二定律

$\mu mg=Ma$ ⑧

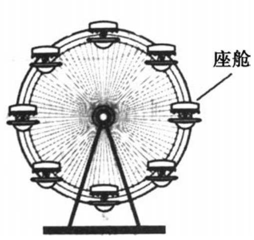
由运动学规律

$v_C^2-v_m^2=-2as$ ⑨

解得 $s=\dfrac{1}{3}L$ ⑩

B组 提升题组

1.(2019 江苏单科,6,4 分)(多选)如图所示,摩天轮悬挂的座舱在竖直平面内做匀速圆周运动。座舱的质量为 m,运动半径为 R,角速度大小为 ω,重力加速度为 g,则座舱 ( )



A.运动周期为$\frac{2\pi R}{\omega}$

B.线速度的大小为 ωR

C.受摩天轮作用力的大小始终为 mg

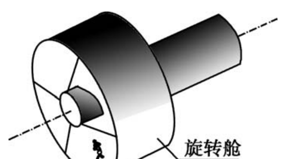
D.所受合力的大小始终为 $m\omega^2R$

答案 **BD** 本题考查匀速圆周运动的基础知识及受力分析,反映出学生对物理概念的掌握情况。

由 $T=\frac{2\pi}{\omega}$,$v=\omega R$ 可知 A 错误,B 正确。由座舱做匀速圆周运动,可知座舱所受的合力提供向心力,$F=m\omega^2R$,方向始终指向摩天轮中心,,则座舱在最低点时,其所受摩天轮的作用力为 $mg+m\omega^2R$,故 C 错误,D 正确。

知识储备 圆周运动常用公式有 $\theta=\frac{L}{R}$,$v=\omega R$,$T=\frac{2\pi}{\omega}$,$F_{向}=\frac{mv^2}{R}=m\omega^2R=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 等。

2.(2015 天津理综,4,6 分)未来的星际航行中,宇航员长期处于零重力状态,为缓解这种状态带来的不适,有人设想在未来的航天器上加装一段圆柱形“旋转舱”,如图所示。当旋转舱绕其轴线匀速旋转时,宇航员站在旋转舱内圆柱形侧壁上,可以受到与他站在地球表面时相同大小的支持力。为达到上述目的,下列说法正确的是 ( )



A.旋转舱的半径越大,转动的角速度就应越大

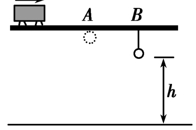
B.旋转舱的半径越大,转动的角速度就应越小

C.宇航员质量越大,旋转舱的角速度就应越大

D.宇航员质量越大,旋转舱的角速度就应越小

答案 **B** 宇航员在舱内受到的支持力与他站在地球表面时受到的支持力大小相等,$mg=m\omega^2r$,即 $g=\omega^2r$,可见 r 越大,ω 就应越小,B 正确,A 错误;角速度与质量 m 无关,C、D 错误。

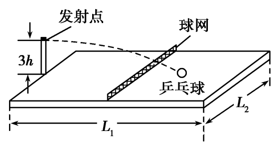
3.(2015 山东理综,14,6 分)距地面高 5 m 的水平直轨道上 A、B 两点相距 2 m,在 B 点用细线悬挂一小球,离地高度为 h,如图。小车始终以 4 m/s 的速度沿轨道匀速运动,经过 A 点时将随车携带的小球由轨道高度自由卸下,小车运动至 B 点时细线被轧断,最后两球同时落地。不计空气阻力,取重力加速度的大小 $g=10\ \text{m/s}^2$。可求得 h 等于 ( )



A.1.25 m　　B.2.25 m　　C.3.75 m　　D.4.75 m

答案 **A** 小车由 A 运动到 B 的时间为$\frac{2}{4}$ s=0.5 s,对左侧小球,5 m$=\frac{1}{2}gt^2$,对右侧小球,$h=\frac{1}{2}g(t-0.5\ \text{s})^2$,解得 $h=$1.25 m,所以 A 正确。

4.(2015 课标Ⅰ,18,6 分)一带有乒乓球发射机的乒乓球台如图所示。水平台面的长和宽分别为 L_1 和 L_2,中间球网高度为 h。发射机安装于台面左侧边缘的中点,能以不同速率向右侧不同方向水平发射乒乓球,发射点距台面高度为 $3h$。不计空气的作用,重力加速度大小为 g。若乒乓球的发射速率 v 在某范围内,通过选择合适的方向,就能使乒乓球落到球网右侧台面上,则 v 的最大取值范围是 ( )



A.$\frac{L_1}{2}\sqrt{\frac{g}{6h}}<v<L_1\sqrt{\frac{g}{6h}}$

B.$\frac{L_1}{4}\sqrt{\frac{g}{h}}<v<\sqrt{\frac{(4L_1^2+L_2^2)g}{6h}}$

C.$\frac{L_1}{2}\sqrt{\frac{g}{6h}}<v<\frac{1}{2}\sqrt{\frac{(4L_1^2+L_2^2)g}{6h}}$

D.$\frac{L_1}{4}\sqrt{\frac{g}{h}}<v<\frac{1}{2}\sqrt{\frac{(4L_1^2+L_2^2)g}{6h}}$

答案 **D** 乒乓球做平抛运动,落到右侧台面上时经历的时间 t_1 满足 $3h=\frac{1}{2}gt_1^2$。当 v 取最大值时其水平位移最大,落点应在右侧台面的台角处,有 $v_{max}t_1=\sqrt{L_1^2+(\frac{L_2}{2})^2}$,解得 $v_{max}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{(4L_1^2+L_2^2)g}{6h}}$;当 v 取最小值时其水平位移最小,发射方向沿正前方且恰好擦网而过,此时有 $3h-h=\frac{1}{2}gt_2^2$,$\frac{L_1}{2}=v_{min}t_2$,解得 $v_{min}=\frac{L_1}{4}\sqrt{\frac{g}{h}}$。故 D 正确。

温馨提示 ①以不同速率向右侧不同方向水平发射乒乓球,不计空气阻力,则乒乓球做平抛运动。②发射的位置和高度一定,说明若能落在台面上,则运动时间一定,且最大的水平位移为$\sqrt{L_1^2+\left(\frac{L_2}{2}\right)^2}$。③若球恰好擦网而过,则下落 $2h$ 的高度,水平位移最小为$\frac{L_1}{2}$。④平抛运动的飞行时间由高度决定,而飞行距离由高度和初速度共同决定,当高度一定时,则由初速度决定。

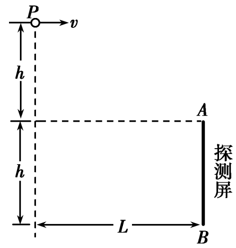
评析 本题以体育运动项目为背景考查了平抛运动,问题涉及临界与极值,很好地考查了考生的分析与推理、理解与运算等多种能力,试题难度为中等偏上,实为一道有能力区分度的好题。

5.(2016 浙江理综,23,16 分)在真空环境内探测微粒在重力场中能量的简化装置如图所示。P 是一个微粒源,能持续水平向右发射质量相同、初速度不同的微粒。高度为 h 的探测屏 AB 竖直放置,离 P 点的水平距离为 L,上端 A 与 P 点的高度差也为 h。

(1)若微粒打在探测屏 AB 的中点,求微粒在空中飞行的时间;

(2)求能被屏探测到的微粒的初速度范围;

(3)若打在探测屏 A、B 两点的微粒的动能相等,求 L 与 h 的关系。



答案　(1)$\sqrt{\frac{3h}{g}}$

(2)$L\sqrt{\frac{g}{4h}}\leqslant v\leqslant L\sqrt{\frac{g}{2h}}$

(3)$L=2\sqrt{2}h$

解析　(1)打在中点的微粒 $\frac{3}{2}h=\frac{1}{2}gt^2$　①

$t=\sqrt{\frac{3h}{g}}$　②

(2)打在 B 点的微粒 $v_1=\frac{L}{t_1}$;$2h=\frac{1}{2}gt_1^2$　③

$v_1=L\sqrt{\frac{g}{4h}}$　④

同理,打在 A 点的微粒初速度 $v_2=L\sqrt{\frac{g}{2h}}$　⑤

微粒初速度范围 $L\sqrt{\frac{g}{4h}}\leqslant v\leqslant L\sqrt{\frac{g}{2h}}$　⑥

(3)由能量关系 $\frac{1}{2}mv_2^2+mgh=\frac{1}{2}mv_1^2+2mgh$　⑦

代入④、⑤式 $L=2\sqrt{2}h$　⑧

C组　教师专用题组

1.(2018北京理综,20,6分)根据高中所学知识可知,做自由落体运动的小球,将落在正下方位置。但实际上,赤道上方200 m处无初速下落的小球将落在正下方位置偏东约6 cm处。这一现象可解释为,除重力外,由于地球自转,下落过程小球还受到一个水平向东的"力",该"力"与竖直方向的速度大小成正比。现将小球从赤道地面竖直上抛,考虑对称性,上升过程该"力"水平向西,则小球　(　　)

A.到最高点时,水平方向的加速度和速度均为零

B.到最高点时,水平方向的加速度和速度均不为零

C.落地点在抛出点东侧

D.落地点在抛出点西侧

答案　D　本题考查运动的合成与分解。以地面为参考系,由题意知,小球上升阶段,水平方向受到向西的"力"作用,产生向西的加速度,水平方向做加速运动;竖直方向由于重力作用,做匀减速运动。运动到最高点时竖直方向速度为零,水平"力"为零,水平方向加速度为零,此时水平向西的速度达到最大,故选项A、B均错。下落阶段,小球受水平向东的"力"作用,水平方向将向西做减速运动,由对称性知,落地时水平速度恰为零,此时落地点应在抛出点西侧,故C错、D对。

知识拓展　科里奥利力

在旋转体系中做直线运动的质点,以旋转体系为参考系,质点的直线运动偏离原有方向的倾向被归结为一个"假想力"的作用,这个"力"称为科里奥利力。

2.(2018江苏单科,3,3分)某弹射管每次弹出的小球速度相等。在沿光滑竖直轨道自由下落过程中,该弹射管保持水平,先后弹出两只小球。忽略空气阻力,两只小球落到水平地面的　(　　)

A.时刻相同,地点相同　　B.时刻相同,地点不同

C.时刻不同,地点相同　　D.时刻不同,地点不同

答案　B　本题考查运动的合成与分解。由题意知,在竖直方向上,两只小球同时同高度自由下落,运动状态始终相同,由 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 知落到水平地面的时刻相同。在水平方向上,小球被弹出后做速度相等的匀速直线运动,但先抛出的小球水平方向运动时间较长,由 $x=v_0t$ 知,$x_{先}>x_{后}$,即两只小球落到水平地面的地点不同。故选B。

易错警示　关键字理解,隐含条件显性化

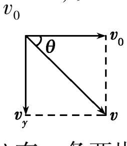
弹射管在自由下落过程中沿水平方向先后弹出两只小球,小球被弹出时已具有竖直分速度,故小球不是做平抛运动。如果认为小球做平抛运动,且释放高度不同,就会误选D项。

3.(2014课标Ⅱ,15,6分)取水平地面为重力势能零点。一物块从某一高度水平抛出,在抛出点其动能与重力势能恰好相等。不计空气阻力。该物块落地时的速度方向与水平方向的夹角为　(　　)

A.$\frac{\pi}{6}$　　B.$\frac{\pi}{4}$　　C.$\frac{\pi}{3}$　　D.$\frac{5\pi}{12}$

答案　B　解法一　设物块在抛出点的速度为 v_0,落地时速度为 v,抛出时重力势能为 E_p,由题意知 $E_p=\frac{1}{2}mv_0^2$;由机械能守恒定律,得 $\frac{1}{2}mv^2=E_p+\frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $v=\sqrt{2}v_0$,设落地时速度方向与水平方向的夹角为 θ,则 $\cos\theta=\frac{v_0}{v}=\frac{\sqrt{2}}{2}$,解得 $\theta=\frac{\pi}{4}$,B正确。

解法二　在竖直方向上物块做自由落体运动,则 $v_y^2=2gh$,得 $v_y=\sqrt{2gh}$。在初始时刻 $mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$,得 $v_0=\sqrt{2gh}$。落地时速度分解如图,$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=1$,故 $\theta=45°=\frac{\pi}{4}$,B正确。



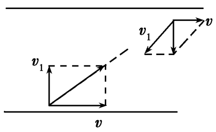
4.(2014四川理综,4,6分)有一条两岸平直、河水均匀流动、流速恒为 v 的大河。小明驾着小船渡河,去程时船头指向始终与河岸垂直,回程时行驶路线与河岸垂直。去程与回程所用时间的比值为 k,船在静水中的速度大小相同,则小船在静水中的速度大小为　(　　)

A.$\frac{kv}{\sqrt{k^2-1}}$　B.$\frac{v}{\sqrt{1-k^2}}$　C.$\frac{kv}{\sqrt{1-k^2}}$　D.$\frac{v}{\sqrt{k^2-1}}$

答案　B　去程时船头垂直河岸如图所示,由合运动与分运动具有等时性并设河宽为 d,则去程时间 $t_1=\frac{d}{v_1}$;回程时行驶

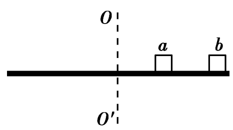
路线垂直河岸，故回程时间 $t_2=\dfrac{d}{\sqrt{v_1^2-v^2}}$，由题意有 $\dfrac{t_1}{t_2}=k$，则 $k=\dfrac{\frac{\sqrt{v_1^2-v^2}}{v_1}}{}$

$\dfrac{\sqrt{v_1^2-v^2}}{v_1}$，得 $v_1=\sqrt{\dfrac{v^2}{1-k^2}}=\dfrac{v}{\sqrt{1-k^2}}$，选项 B 正确。



解题关键　此题以小船过河为情境考查运动的合成和分解，解答本题的关键点有二：一是合运动和分运动具有等时性；二是利用河宽为定值，去程为分运动的位移，返程为合运动的位移，确定去返的时间，该题难度适中，但有很好的区分度。

5.（2014 课标Ⅰ，20，6 分）（多选）如图，两个质量均为 m 的小木块 a 和 b（可视为质点）放在水平圆盘上，a 与转轴 OO' 的距离为 l，b 与转轴的距离为 $2l$。木块与圆盘的最大静摩擦力为木块所受重力的 k 倍，重力加速度大小为 g。若圆盘从静止开始绕转轴缓慢地加速转动，用 ω 表示圆盘转动的角速度，下列说法正确的是（　　）



A. b 一定比 a 先开始滑动

B. a、b 所受的摩擦力始终相等

C. $\omega=\sqrt{\dfrac{kg}{2l}}$ 是 b 开始滑动的临界角速度

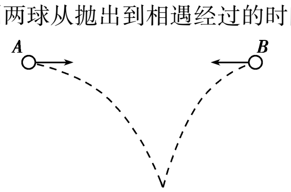
D. 当 $\omega=\sqrt{\dfrac{2kg}{3l}}$ 时，a 所受摩擦力的大小为 kmg

答案　AC　设木块滑动的临界角速度为 ω，则有 $kmg=m\omega^2r$，所以 $\omega=\sqrt{\dfrac{kg}{r}}$，又 $r_a=l$，$r_b=2l$，所以 $\omega_a>\omega_b$，A、C 项正确；摩擦力充当向心力，在角速度相等时，b 受的摩擦力大，B 项错误；$\omega=\sqrt{\dfrac{2kg}{3l}}$ 时，a 受的摩擦力 $f_a=m\omega^2r=m\left(\sqrt{\dfrac{2kg}{3l}}\right)^2l=\dfrac{2}{3}kmg$，D 项错误。

解题关键　①圆盘从静止开始绕转轴缓慢地加速转动，随着 ω 的增大，木块所受摩擦力逐渐增大，当达到最大静摩擦力时木块开始滑动。②注意 a 和 b 开始滑动时所对应的角速度的临界值。

相关知识　通常摩擦力的大小可由平衡条件、运动状态、牛顿运动定律、动能定理等求解，滑动摩擦力还可以应用 $f=\mu F_N$ 来求解。

6.（2017 江苏单科，2，3 分）如图所示，A、B 两小球从相同高度同时水平抛出，经过时间 t 在空中相遇。若两球的抛出速度都变为原来的 2 倍，则两球从抛出到相遇经过的时间为（　　）



A. t　　B. $\dfrac{\sqrt{2}}{2}t$

C. $\dfrac{t}{2}$　　D. $\dfrac{t}{4}$

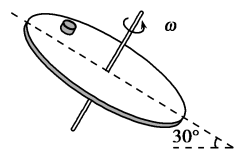
答案　C　本题考查平抛运动、运动的独立性。依据运动的独立性原理，在水平方向上，两球之间的距离 $d=(v_1+v_2)t=(2v_1+2v_2)t'$，得 $t'=\dfrac{t}{2}$，故选项 C 正确。

规律总结　运动的独立性原理、相对运动

一个物体同时参与几个独立的运动，每个分运动相互独立，运动规律互不影响。

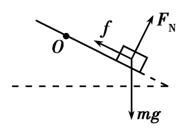
两个物体相对运动，互为参考系时，相同的分运动可以忽略运动效果。对同时平抛的两个小球，相对于另一个小球，在水平方向上做匀速直线运动。

7.（2014 安徽理综，19，6 分）如图所示，一倾斜的匀质圆盘绕垂直于盘面的固定对称轴以恒定角速度 ω 转动，盘面上离转轴距离 2.5 m 处有一小物体与圆盘始终保持相对静止。物体与盘面间的动摩擦因数为 $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$（设最大静摩擦力等于滑动摩擦力），盘面与水平面的夹角为 30°，g 取 10 m/s²。则 ω 的最大值是（　　）



A. $\sqrt{5}$ rad/s　B. $\sqrt{3}$ rad/s　C. 1.0 rad/s　D. 0.5 rad/s

答案　C　当物体转到圆盘的最低点恰好不滑动时，转盘的角速度最大，其受力如图所示（其中 O 为对称轴位置）



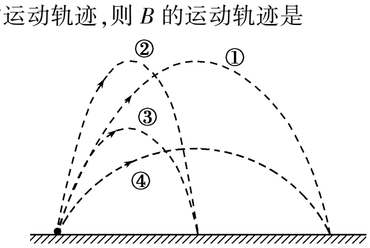
由沿盘面的合力提供向心力，有

$\mu mg\cos30°-mg\sin30°=m\omega^2R$

得 $\omega=\sqrt{\dfrac{g}{4R}}=1.0$ rad/s，选项 C 正确。

评析　此题考查牛顿第二定律、圆周运动等知识，题目设置新颖，巧妙地将已学的竖直面内的圆周运动与斜面结合，本题易认为在最高点时角速度最大而错选 A。

8.（2016 江苏单科，2，3 分）有 A、B 两小球，B 的质量为 A 的两倍。现将它们以相同速率沿同一方向抛出，不计空气阻力。图中①为 A 的运动轨迹，则 B 的运动轨迹是（　　）



A. ①　B. ②　C. ③　D. ④

答案　A　不计空气阻力，A、B 两球运动过程中加速度 $a=g$，以相同速率沿同一方向抛出，都做斜上抛运动，故两球轨迹相同，A 选项正确。

易错点拨　试题以斜上抛为背景，虽然两球质量不同，但在不计空气阻力时运动的加速度均为重力加速度，考生可能会由生活经验"重的物体飞行高度低，所用时间短"而错选 C 或 D。

9.（2015 浙江理综，17，6 分）如图所示为足球球门，球门宽为 L。一个球员在球门中心正前方距离球门 s 处高高跃起，将足球顶入球门的左下方死角（图中 P 点）。球员顶球点的高度为 h。足球做平抛运动（足球可看成质点，忽略空气阻力），则（　　）



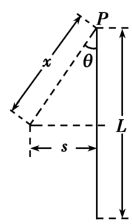
A.足球位移的大小 $x=\sqrt{\frac{L^2}{4}+s^2}$

B.足球初速度的大小 $v_0=\sqrt{\frac{g}{2h}\left(\frac{L^2}{4}+s^2\right)}$

C.足球末速度的大小 $v=\sqrt{\frac{g}{2h}\left(\frac{L^2}{4}+s^2\right)+4gh}$

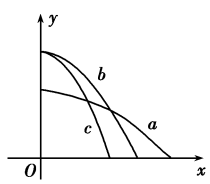
D.足球初速度的方向与球门线夹角的正切值 $\tan\theta=\frac{L}{2s}$

答案　B　如图,足球平抛运动的水平位移 $x=\sqrt{s^2+\frac{L^2}{4}}$,不是足球的位移,所以 A 错。由 $x=v_0t$,$h=\frac{1}{2}gt^2$,得 $v_0=\frac{x}{t}=\sqrt{s^2+\frac{L^2}{4}}\Big/\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{g}{2h}\left(\frac{L^2}{4}+s^2\right)}$,B 正确。足球的末速度 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{\frac{g}{2h}\left(\frac{L^2}{4}+s^2\right)+2gh}$,所以 C 错误。由图可知足球初速度方向与球门线的夹角为 θ,$\tan\theta=s\Big/\frac{L}{2}=2s/L$,故 D 错误。所以本题选 B。



评析　本题考查平抛知识,难点是想象空间模型。

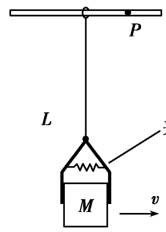
10.(2012 课标,15,6 分)(多选)如图,x 轴在水平地面内,y 轴沿竖直方向。图中画出了从 y 轴上沿 x 轴正向抛出的三个小球 a、b 和 c 的运动轨迹,其中 b 和 c 是从同一点抛出的。不计空气阻力,则　(　　)



A.a 的飞行时间比 b 的长　B.b 和 c 的飞行时间相同
C.a 的水平速度比 b 的小　D.b 的初速度比 c 的大

答案　BD　小球做平抛运动,在竖直方向上满足 $h=\frac{1}{2}gt^2$,得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$,可知 A 错 B 正确。在水平方向上 $x=v_0t$,即 $v_0=x\cdot\sqrt{\frac{g}{2h}}$,且由题图可知 $h_b=h_c>h_a$,$x_a>x_b>x_c$,则 D 正确 C 错误。

11.(2017 江苏单科,5,3 分)如图所示,一小物块被夹子夹紧,夹子通过轻绳悬挂在小环上,小环套在水平光滑细杆上。物块质量为 M,到小环的距离为 L,其两侧面与夹子间的最大静摩擦力均为 F。小环和物块以速度 v 向右匀速运动,小环碰到杆上的钉子 P 后立刻停止,物块向上摆动。整个过程中,物块在夹子中没有滑动。小环和夹子的质量均不计,重力加速度为 g。下列说法正确的是　(　　)



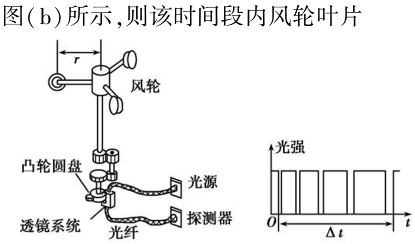
A.物块向右匀速运动时,绳中的张力等于 $2F$
B.小环碰到钉子 P 时,绳中的张力大于 $2F$
C.物块上升的最大高度为 $\frac{2v^2}{g}$
D.速度 v 不能超过 $\sqrt{\frac{(2F-Mg)L}{M}}$

答案　D　本题考查受力分析、圆周运动。设夹子与物块间静摩擦力为 f,匀速运动时,绳中张力 $T=Mg=2f$,摆动时,物块没有在夹子中滑动,说明匀速运动过程中,夹子与物块间的静摩擦力没有达到最大值,A 错;碰到钉子后,物块开始在竖直面内做圆周运动,在最低点,对整体 $T'-Mg=M\frac{v^2}{L}$,对物块 $2f-Mg=M\frac{v^2}{L}$,所以 $T'=2f$,由于 $f\leq F$,所以选项 B 错;由机械能守恒得,$MgH_{max}=\frac{1}{2}Mv^2$,所以 $H_{max}=\frac{v^2}{2g}$,选项 C 错;若保证物块不从夹子中滑落,应保证速度为最大值 v_m 时,在最低点满足关系式 $2F-Mg=M\frac{v_m^2}{L}$,所以 $v_m=\sqrt{\frac{(2F-Mg)L}{M}}$,选项 D 正确。

解题关键　静摩擦力变化的判断分析

夹子与物块间的静摩擦力随着物块运动情况的变化而变化。在匀速阶段,静摩擦力与物块重力平衡,碰到钉子后,由于向心力的需要,摩擦力会突然变大,当摩擦力达到最大值后,仍无法满足向心力的需要,物块就会从夹子中滑落。

12.(2016 上海单科,16,3 分)风速仪结构如图(a)所示。光源发出的光经光纤传输,被探测器接收,当风轮旋转时,通过齿轮带动凸轮圆盘旋转,当圆盘上的凸轮经过透镜系统时光被遮挡。已知风轮叶片转动半径为 r,每转动 n 圈带动凸轮圆盘转动一圈。若某段时间 Δt 内探测器接收到的光强随时间变化关系如图(b)所示,则该时间段内风轮叶片　(　　)



图(a)　图(b)

A.转速逐渐减小,平均速率为 $\frac{4\pi nr}{\Delta t}$

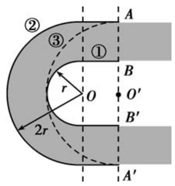
B.转速逐渐减小,平均速率为 $\frac{8\pi nr}{\Delta t}$

C.转速逐渐增大,平均速率为 $\frac{4\pi nr}{\Delta t}$

D.转速逐渐增大,平均速率为 $\frac{8\pi nr}{\Delta t}$

答案　B　由图(b)分析可知透过光的时间越来越长，说明风轮叶片速度逐渐减小，还能看出 Δt 内凸轮圆盘转 4 圈，又因为它转 1 圈风轮叶片转 n 圈，所以 Δt 内风轮叶片转 $4n$ 圈，相应的风轮叶片转过的弧长为 $l=4n\cdot 2\pi r$，所以它的平均速率 $v=\frac{l}{\Delta t}=\frac{8\pi nr}{\Delta t}$，故只有 B 项正确。

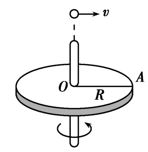
13.(2015 浙江理综,19,6 分)(多选)如图所示为赛车场的一个水平"U"形弯道，转弯处为圆心在 O 点的半圆，内外半径分别为 r 和 $2r$。一辆质量为 m 的赛车通过 AB 线经弯道到达 $A'B'$ 线，有如图所示的①、②、③三条路线，其中路线③是以 O' 为圆心的半圆，$OO'=r$。赛车沿圆弧路线行驶时，路面对轮胎的最大径向静摩擦力为 F_{max}。选择路线，赛车以不打滑的最大速率通过弯道(所选路线内赛车速率不变，发动机功率足够大)，则　(　　)



A.选择路线①，赛车经过的路程最短
B.选择路线②，赛车的速率最小
C.选择路线③，赛车所用时间最短
D.①、②、③三条路线的圆弧上，赛车的向心加速度大小相等

答案　ACD　路线①、②均由一半圆与两条直线构成，$s_1=\pi r+2r$，$s_2=2\pi r+2r$；路线③由一半圆构成，$s_3=2\pi r$，所以 A 正确。根据 $F=\frac{mv^2}{R}$，有 $v_m=\sqrt{\frac{F_{max}R}{m}}$，路线①半径最小，路线②、③半径相等，得 $v_{2m}=v_{3m}=\sqrt{2}v_{1m}$，B 错。根据 $t_1=\frac{s_1}{v_{1m}}=\frac{\pi r+2r}{v_{1m}}$，$t_2=\frac{s_2}{v_{2m}}=\frac{2\pi r+2r}{\sqrt{2}v_{1m}}$，$t_3=\frac{s_3}{v_{3m}}=\frac{2\pi r}{\sqrt{2}v_{1m}}$，得 $t_2>t_1>t_3$，C 正确。根据 $a=\frac{v^2}{R}$，$a_1=\frac{v_{1m}^2}{r}$，$a_2=\frac{v_{2m}^2}{2r}=\frac{2v_{1m}^2}{2r}=\frac{v_{1m}^2}{r}$，$a_3=\frac{v_{3m}^2}{2r}=\frac{v_{1m}^2}{r}$，得 $a_1=a_2=a_3$，D 正确。

14.[2014 天津理综,9(1),6 分]半径为 R 的水平圆盘绕过圆心 O 的竖直轴匀速转动，A 为圆盘边缘上一点。在 O 的正上方有一个可视为质点的小球以初速度 v 水平抛出时，半径 OA 方向恰好与 v 的方向相同，如图所示。若小球与圆盘只碰一次，且落在 A 点，重力加速度为 g，则小球抛出时距 O 的高度 $h=$________，圆盘转动的角速度大小 $\omega=$________。



答案　$\frac{gR^2}{2v^2}$　$\frac{2n\pi v}{R}(n\in\mathbf{N}^*)$

解析　小球做平抛运动：$h=\frac{1}{2}gt^2$、$R=vt$，解得 $h=\frac{gR^2}{2v^2}$。由题意知 $\omega t=2\pi\times n(n\in\mathbf{N}^*)$，故联立 $R=vt$ 可得 $\omega=\frac{2n\pi v}{R}(n\in\mathbf{N}^*)$。

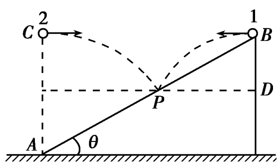
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 224

时间:80 分钟　分值:110 分

一、选择题(每小题 6 分,共 48 分)

1.(2020 届甘肃兰州一中期中,18)(多选)如图所示，倾角 $\theta=30°$ 的斜面 AB，从斜面顶端 B 向左水平抛出小球 1，同时在底端 A 正上方某高度处水平向右抛出小球 2，小球 1、2 同时落在 P 点，P 点为斜边 AB 的中点，则　(　　)



A.小球 2 一定垂直撞在斜面上
B.小球 1、2 的初速度大小一定相等
C.小球 1 落在 P 点时的速度与斜面的夹角为 30°
D.改变小球 1 的初速度，小球 1 落在斜面上的速度方向都平行

答案　BD　本题考查了平抛运动的处理方法，体现了物理观念中的运动与相互作用要素。

两个小球同时做平抛运动，又同时落在 AB 的中点 P 点，则两球的水平位移和运动时间相同，由 $x=v_0t$ 可知，两球的初速度相等，选项 B 正确。小球 1 落在斜面上时有 $\tan\theta=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$，小球 2 落在斜面上的速度与竖直方向的夹角正切 $\tan\alpha=\frac{v_0}{gt}=\frac{1}{2\tan\theta}$，故 $\alpha\neq\theta$，小球 2 没有垂直撞在斜面上，选项 A 错误；小球 1 落在 P 点时速度与水平方向夹角正切 $\tan\beta=\frac{gt}{v_0}=2\tan\theta=\frac{2\sqrt{3}}{3}<\sqrt{3}$，则 $\beta<60°$，故小球 1 落在 P 点时速度与斜面的夹角为 $\gamma=\beta-\theta<60°-30°=30°$，选项 C 错误；由 $\tan\beta=\frac{gt}{v_0}=2\tan\theta$ 可知，改变小球 1 的初速度，小球 1 落在斜面上的速度方向与斜面夹角 $\gamma=\beta-\theta$ 不变，因而都平行，选项 D 正确。

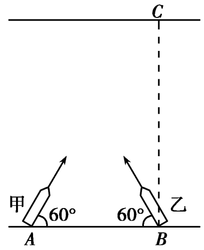
2.(2018 四川西昌期中,3)一艘船在一条河流中渡河，当河水不流动时，船垂直渡河用时 t_1。当发生山洪后，在流动的河水中，船在同一位置垂直渡河用时为(设船相对于静水的速度一定，水速是船相对于静水的速度大小的一半)　(　　)

A.$\sqrt{2}t_1$　　B.$2t_1$　　C.$\sqrt{3}t_1$　　D.$\frac{2\sqrt{3}}{3}t_1$

答案　D　设河宽为 L，船相对静水的速度为 v，则河水不流动时，船垂直渡河的时间 $t_1=\frac{L}{v}$；当水速是 $\frac{v}{2}$ 时，要垂直河岸渡河，则有 $v_\perp=\sqrt{v^2-\left(\frac{v}{2}\right)^2}=\frac{\sqrt{3}}{2}v$，船垂直渡河的时间 $t_2=\frac{L}{v_\perp}=\frac{2\sqrt{3}}{3}\cdot\frac{L}{v}=\frac{2\sqrt{3}}{3}t_1$，选项 D 正确。

3.(2020 届广西南宁联考)如图所示，在宽为 H 的河流中，甲、乙两船从相距 $\frac{\sqrt{3}}{3}H$ 的 A、B 两个码头同时开始渡河，船头与河岸均成 60°角，两船在静水中的速度大小相等，且乙船恰能沿 BC

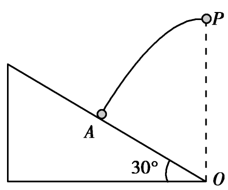
到达正对岸的 C。则下列说法正确的是 ( )



A.两船不会相遇
B.两船在 C 点相遇
C.两船在 AC 的中点相遇
D.两船在 BC 的中点相遇

答案 D 本题考查了运动的合成与分解中小船渡河模型，体现科学思维中的模型建构要素。设两船在静水中的速度大小为 v，根据题述，乙船恰能沿 BC 到达正对岸的 C，可知 $v\cos 60°=v_{水}$，渡河时间 $t=\dfrac{H}{v\sin 60°}=\dfrac{2\sqrt{3}H}{3v}$，甲船沿河岸方向分速度 $v\cos 60°=\dfrac{v}{2}$，在渡河时间 $t=\dfrac{2\sqrt{3}H}{3v}$ 内甲船沿河岸方向位移 $s=(v\cos 60°+v_{水})t=\left(\dfrac{v}{2}+\dfrac{v}{2}\right)\dfrac{2\sqrt{3}H}{3v}=\dfrac{2\sqrt{3}H}{3}$，刚好等于 A、B 两个码头之间距离 $\dfrac{\sqrt{3}H}{3}$ 的2倍，即两船在 BC 的中点相遇，选项D正确，A、B、C错误。

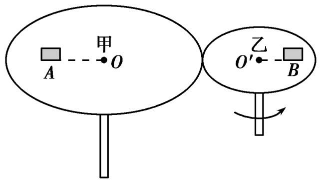
4.(2019山西晋城一模,6)如图所示，倾角为30°的斜面体放置在水平地面上，一物体从斜面底端 O 点正上方的 P 点水平抛出，垂直落到斜面上的 A 点，已知 A 点距离水平地面的高度为 h，忽略空气阻力，O、P 之间的距离为 ( )



A.$2.5h$　　B.$2\sqrt{2}h$　　C.$2h$　　D.$2\sqrt{3}h$

答案 A 设 O、P 之间的距离为 H，平抛运动的水平位移为 s，则 $H-h=\dfrac{1}{2}v_yt$，$s=v_0t$，两式相除得 $\dfrac{H-h}{s}=\dfrac{v_y}{2v_0}$，因为 $\dfrac{v_y}{v_0}=\dfrac{1}{\tan 30°}$，$s=\dfrac{h}{\tan 30°}$，代入数据求得 $H=2.5h$，选项A正确。

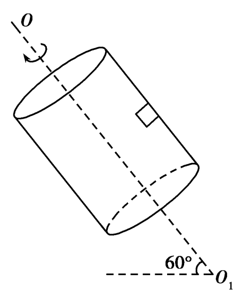
5.(2020届内蒙古集宁一中摸底,5)(多选)摩擦传动是传动装置中的一个重要模型，如图所示的两个水平放置的轮盘靠摩擦力传动，其中 O、O' 分别为两轮盘的轴心，已知两个轮盘的半径比 $r_{甲}:r_{乙}=3:1$，且在正常工作时两轮盘不打滑。今在两轮盘上分别放置两个同种材料制成的完全相同的滑块 A、B，两滑块与轮盘间的动摩擦因数相同，两滑块距离轴心 O、O' 的间距 $R_A=2R_B$。若轮盘乙由静止开始缓慢地转动起来，且转速逐渐增加，则下列叙述正确的是 ( )



A.滑块 A 和 B 在与轮盘相对静止时，角速度之比为 $\omega_A:\omega_B=1:3$
B.滑块 A 和 B 在与轮盘相对静止时，向心加速度的比值为 $a_A:a_B=2:9$
C.转速增加后滑块 B 先发生滑动
D.转速增加后两滑块一起发生滑动

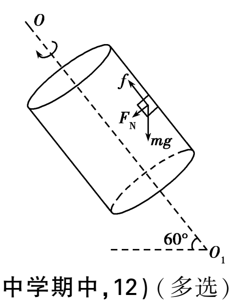
答案 ABC 本题考查圆周运动中各物理量之间的关系，以及从动力学角度分析圆周运动，体现了物理观念中的运动与相互作用要素。由题意可知两轮盘边缘的线速度 v 大小相等，由 $v=\omega r$，$r_{甲}:r_{乙}=3:1$，可得 $\omega_{甲}:\omega_{乙}=1:3$，所以滑块相对轮盘静止时，$A$、$B$ 的角速度之比为 $1:3$，故A正确；滑块相对轮盘静止时，根据加速度公式 $a=R\omega^2$，又 $R_A:R_B=2:1$，$\omega_A:\omega_B=1:3$，所以 A、B 的向心加速度之比为 $a_A:a_B=2:9$，故B正确；滑块的最大静摩擦力分别为 $F_{fA}=\mu m_Ag$，$F_{fB}=\mu m_Bg$，则最大静摩擦力之比为 $F_{fA}:F_{fB}=m_A:m_B$，转动中所受的静摩擦力之比为 $F_{fA}':F_{fB}'=m_Aa_A:m_Ba_B=m_A:4.5m_B$，由上可得滑块 B 先达到最大静摩擦力而先开始滑动，故C正确，D错误。

6.(2018江西临川联考,3)如图所示，一倾斜的圆筒绕固定轴 OO_1 以恒定的角速度 ω 转动，圆筒的半径 $r=1.5$ m。筒壁内有一小物体与圆筒始终保持相对静止，小物体与圆筒间的动摩擦因数为 $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$（设最大静摩擦力等于滑动摩擦力），转动轴与水平面间的夹角为60°，重力加速度 g 取 10 m/s²，则 ω 的最小值是 ( )

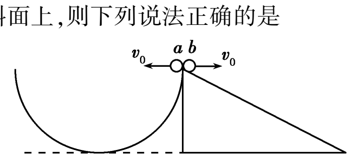


A.1 rad/s　　B.$\dfrac{\sqrt{30}}{3}$ rad/s
C.$\sqrt{10}$ rad/s　　D.5 rad/s

答案 C 小物体绕固定轴 OO_1 做圆周运动，其受力如图所示，沿筒壁方向有：$f-mg\sin 60°=0$，垂直筒壁方向有：$F_N+mg\cos 60°=mr\omega^2$，又 $f=\mu F_N$，联立解得 $\omega=\sqrt{10}$ rad/s，选项C正确。



7.(2020届陕西西安中学期中,12)(多选)如图所示，a、b 两小球分别从半圆轨道顶端和斜面顶端以大小相等的初速度 v_0 同时水平抛出，已知半圆轨道的半径与斜面竖直高度相等，斜面底边长是其竖直高度的2倍，若小球 a 能落到半圆轨道上，小球 b 能落到斜面上，则下列说法正确的是 ( )



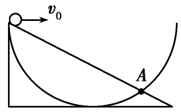
A.a 球可能先落在半圆轨道上
B.b 球可能先落在斜面上

C.两球可能同时落在半圆轨道上和斜面上

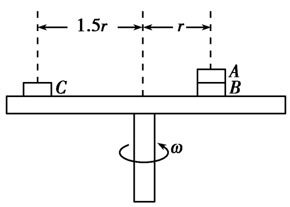
D.a 球可能垂直落在半圆轨道上

答案　ABC　本题考查了平抛运动在不同情景中的应用,体现了运动与相互作用要素。

如图所示,将半圆轨道与斜面放在一起,交点为 A,若抛出的速度合适,小球刚好落在 A 点,即两球同时落在半圆轨道和斜面上,若落在 A 点上方,则先落在斜面上,若落在 A 点下方,则先落在半圆轨道上,故选项 A、B、C 都可能正确。速度的反向延长线过水平位移中点,若垂直打在半圆轨道上,速度反向延长线过圆心,而圆心不是水平位移中点,故选项 D 错误。



8.(**2018 湖南师大附中段考,14**)(多选)如图所示,叠放在水平转台上的小物体 A 和 B 及 C 正随转台一起以角速度 ω 匀速转动(没发生相对滑动),A、B、C 的质量分别为 $3m$、$2m$、m,A 与 B、B 与转台、C 与转台间的动摩擦因数都为 μ,B、C 离转台中心的距离分别为 r、$1.5r$,设最大静摩擦力等于滑动摩擦力,以下说法正确的是　(　　)



A.B 对 A 的摩擦力可能为 $3\mu mg$

B.C 与转台间的摩擦力小于 A 与 B 间的摩擦力

C.转台的角速度 ω 有可能恰好等于 $\sqrt{\dfrac{2\mu g}{3r}}$

D.若角速度 ω 再在题干所述基础上缓慢增大,A 与 B 间最先发生相对滑动

答案　BC　对 AB 整体,有 $(3m+2m)\omega^2 r\leqslant\mu(3m+2m)g$　①

对物体 C,有 $m\omega^2(1.5r)\leqslant\mu mg$　②

对物体 A,有 $3m\omega^2 r\leqslant\mu(3m)g$　③

联立①②③式解得 $\omega\leqslant\sqrt{\dfrac{2\mu g}{3r}}$,则满足不发生相对滑动,转台的角速度 $\omega\leqslant\sqrt{\dfrac{2\mu g}{3r}}$,可知 A 与 B 间的静摩擦力最大值 $f_m=3mr\cdot\dfrac{2\mu g}{3r}=2\mu mg$,故 A 错误,C 正确。由于 A 与 C 转动的角速度相同,由摩擦力提供向心力有 $m(1.5r)\omega^2<3mr\omega^2$,即 C 与转台间的摩擦力小于 A 与 B 间的摩擦力,故 B 正确。由以上分析可知,最先发生相对滑动的是物体 C,故 D 错误。

二、非选择题(共 62 分)

9.(8 分)(**2018 甘肃四校期中,13**)已知某船在静水中的速度为 $v_1=5$ m/s,现让船渡过某条河,假设这条河的两岸是理想的平行线,河宽为 $d=100$ m,水流速度为 $v_2=3$ m/s,方向与河岸平行。

(1)欲使船以最短时间渡河,最短时间是多少?

(2)欲使船以最小位移渡河,渡河所用时间是多少?

答案　(1)20 s　(2)25 s

解析　(1)当船头垂直河岸渡河时,所需要的时间最短,最短时间为

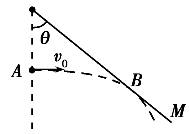
$t=\dfrac{d}{v_1}=\dfrac{100}{5}\text{ s}=20\text{ s}$

(2)欲使船航行距离最短,需使船的实际位移(合位移)与河岸垂直,因此最短位移为河宽,即 100 m

船的合速度 $v=\sqrt{v_1^2-v_2^2}=\sqrt{5^2-3^2}\text{ m/s}=4\text{ m/s}$

$t'=\dfrac{d}{v}=\dfrac{100}{4}\text{ s}=25\text{ s}$

10.(12 分)(**2020 届陕西西安中学期中,15**)如图所示,挡板 OM 与竖直方向所夹的锐角为 θ,一小球(视为质点)从 O 点正下方 A 点以速度 v_0 水平抛出,小球运动过程中恰好不和挡板碰撞(小球轨迹所在平面与挡板垂直)。不计空气阻力,重力加速度大小为 g,求:



(1)小球恰好不和挡板碰撞时的竖直速度大小。

(2)O、A 间的距离。

答案　(1)$\dfrac{v_0}{\tan\theta}$　(2)$\dfrac{v_0^2}{2g\tan^2\theta}$

解析　本题考查了平抛运动的处理方法,体现了运动与相互作用要素。

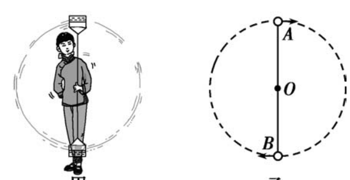
(1)由于小球恰好不和挡板碰撞,到达斜面时,速度方向与斜面恰好平行,有:$\tan\theta=\dfrac{v_0}{v_y}$,解得 $v_y=\dfrac{v_0}{\tan\theta}$。

(2)根据 $\tan\theta=\dfrac{v_0}{gt}$ 得,运动的时间为 $t=\dfrac{v_0}{g\tan\theta}$,根据 $x=v_0t$,$y=\dfrac{1}{2}gt^2$,解得平抛运动的水平位移为 $x=\dfrac{v_0^2}{g\tan\theta}$

竖直位移为 $y=\dfrac{v_0^2}{2g\tan^2\theta}$。

所以:$OA=\dfrac{x}{\tan\theta}-y=\dfrac{v_0^2}{2g\tan^2\theta}$

11.(8 分)(**2018 福建百校联考**)图甲中表演的水流星是一项中国传统民间杂技艺术,在一根绳子上系着两个装满水的桶,表演者把它用动转起来,犹如流星般,而水不会流出来。图乙为水流星的简化示意图,在某次表演中,当桶 A 在最高点时,桶 B 恰好在最低点,若演员仅控制住绳的中点 O 不动,而水桶 A、B(均可视为质点)都恰好能通过最高点,已知绳长 $l=1.6$ m,两水桶(含水)的质量均为 $m=0.5$ kg,不计空气阻力及绳重,取 $g=10\text{ m/s}^2$。



甲　　乙

(1)求水桶在最高点和最低点的速度大小;

(2)求图示位置时,手对绳子的力的大小。

答案　(1)$2\sqrt{2}$ m/s　$2\sqrt{10}$ m/s　(2)30 N

解析　(1)设最高点的速度大小为 v_1,最低点的速度大小为 v_2,水桶做圆周运动的半径 $R=\dfrac{l}{2}=0.8$ m

水桶恰通过最高点时绳上的拉力为零,有:$mg=m\dfrac{v_1^2}{R}$

解得:$v_1=2\sqrt{2}$ m/s

水桶从最高点运动到最低点有：$mgl+\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_2^2$

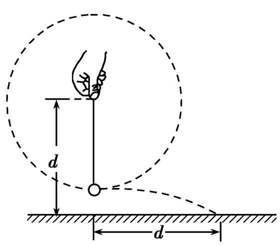
解得：$v_2=2\sqrt{10}$ m/s

(2)绳 OA 对水桶 A 的拉力为零,对最低点的桶 B 受力分析可得 $F_{OB}-mg=m\frac{v_2^2}{R}$

解得：$F_{OB}=30$ N

所以,手对绳子的力的大小为 30 N

12.(12分)(**2018 河南师大附中段考,16**)小明站在水平地面上,手握住不可伸长的轻绳一端,绳的另一端系有质量为 m 的小球,甩动手腕,使球在竖直平面内做圆周运动。当小球某次运动到最低点时,绳突然断掉,球飞行水平距离 d 后落地,如图所示。已知握绳的手离地面高度为 d,手与球之间的绳长为 $\frac{3}{4}d$,忽略手的运动半径和空气阻力。



(1)求绳断时球的速度大小 v_1 和球落地时的速度大小 v_2。

(2)求绳能承受的最大拉力。

(3)改变绳长,使球重复上述运动,若绳仍在球运动到最低点时断掉,要使球抛出的水平距离最大,绳长应是多少?最大水平距离为多少?

答案 (1)$\sqrt{2gd}$ $\sqrt{\frac{5}{2}gd}$

(2)$\frac{11}{3}mg$

(3)$\frac{d}{2}$ $\frac{2\sqrt{3}}{3}d$

解析 (1)设绳断后球飞行时间为 t,由平抛运动规律得

竖直方向 $\frac{1}{4}d=\frac{1}{2}gt^2$

水平方向 $d=v_1t$

解得 $v_1=\sqrt{2gd}$

在竖直方向上应用运动学公式 $v_y=gt=\sqrt{\frac{gd}{2}}$

所以 $v_2=\sqrt{v_1^2+v_y^2}=\sqrt{\frac{5}{2}gd}$

(2)设绳能承受的最大拉力大小为 F,这也是球受到绳的最大拉力。球做圆周运动的半径为 $R=\frac{3}{4}d$

对小球在最低点由牛顿第二定律得 $F-mg=\frac{mv_1^2}{R}$

解得 $F=\frac{11}{3}mg$

(3)设绳长为 l,绳断时球的速度大小为 v_3,绳承受的最大拉力不变。由牛顿第二定律得 $F-mg=\frac{mv_3^2}{l}$

解得 $v_3=\sqrt{\frac{8}{3}gl}$

绳断后球做平抛运动,竖直位移为 $d-l$,水平位移为 x,时间为 t_1,则

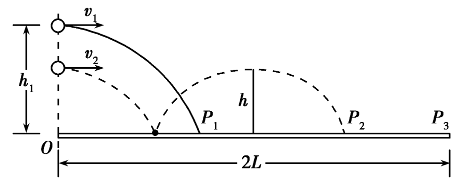
竖直方向 $d-l=\frac{1}{2}gt_1^2$

水平方向 $x=v_3t_1$

解得 $x=4\sqrt{\frac{l(d-l)}{3}}$

当 $l=\frac{d}{2}$ 时,x 有极大值,$x_{max}=\frac{2\sqrt{3}}{3}d$

13.(12分)(**2020 届江西赣州十四县市期中**)抛体运动在各类体育运动项目中很常见,如乒乓球运动。现讨论乒乓球发球问题,设球台长 $2L$、网高 h,乒乓球反弹前后水平分速度不变,竖直分速度大小不变、方向相反,且不考虑乒乓球的旋转和空气阻力。(设重力加速度为 g)



(1)若球在球台边缘 O 点正上方高度为 h_1 处以速度 v_1 水平发出,落在球台上的 P_1 点(如图中实线所示),求 P_1 点距 O 点的距离 x_1。

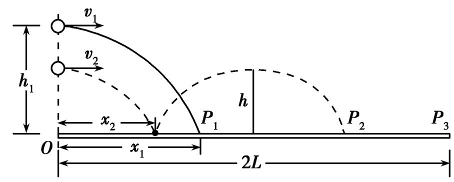
(2)若球从 O 点正上方某高度处以速度 v_2 水平发出,恰好在最高点时越过球网落在球台上的 P_2 点(如图中虚线所示),求 v_2 的大小。

(3)若球从 O 点正上方水平发出后,球经反弹恰好越过球网且刚好落在对方球台边缘 P_3 点,求发球点距 O 点的高度 h_3。

答案 (1)$v_1\sqrt{\frac{2h_1}{g}}$ (2)$\frac{L}{2}\sqrt{\frac{g}{2h}}$ (3)$\frac{4}{3}h$

解析 本题考查了平抛运动规律,体现了科学思维中模型建构要素。

(1)如图甲所示,根据平抛规律得



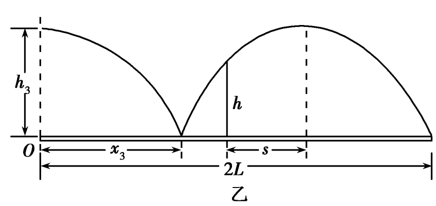
甲

$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$,$x_1=v_1t_1$,联立解得：$x_1=v_1\sqrt{\frac{2h_1}{g}}$。

(2)根据平抛规律得：$h_2=\frac{1}{2}gt_2^2$,$x_2=v_2t_2$

且 $h_2=h$,$2x_2=L$,联立解得 $v_2=\frac{L}{2}\sqrt{\frac{g}{2h}}$。

(3)如图乙所示,得：$h_3=\frac{1}{2}gt_3^2$,$x_3=v_3t_3$



乙

且 $3x_3=2L$

设球从恰好越过球网到达到最高点时所用的时间为 t,水

平距离为 s，有 $h_3-h=\frac{1}{2}gt^2$

$s=v_3t$

由几何关系得：

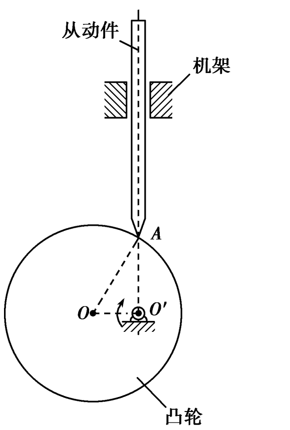
$x_3+s=L$，

解得：$h_3=\frac{4}{3}h$。

14.(10分)(**2019 5·3原创**)凸轮机构由于具有结构简单、紧凑等特点被大量应用于多种机械设备中。只要设计出合适的凸轮轮廓曲线，就可以使从动件按照预期的规律运动。如图所示的凸轮机构由凸轮、从动件、机架三部分组成，其中机架固定不动。凸轮轮廓曲线是半径为 R 的圆形，圆心为 O，凸轮绕固定点 O' 以角速度 ω 沿顺时针方向匀速转动，从而带动从动件沿竖直方向上下移动。已知 O' 点与从动件在一条竖直线上，$OO'=\frac{1}{2}R$，运动过程中凸轮与从动件始终保持接触。求：

(1)设从动件质量为 m，从动件从最低位置运动到最高位置时，重力势能的增加量；

(2)某一时刻，OO' 连线恰好沿水平方向，如图所示，则此刻从动件的运动速度大小为多少。

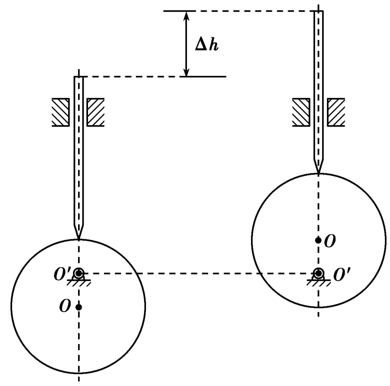


答案　(1)mgR　(2)$\frac{1}{2}\omega R$

解析　(1)当凸轮运动到图甲左图所示位置时，从动件处于最低位置；当凸轮运动到图甲右图所示位置时，从动件处于最高位置。则

高度差 $\Delta h=2\times\frac{1}{2}R=R$

重力势能增加量 $\Delta E_p=mg\Delta h=mgR$



甲

(2)在计算该时刻从动件速度时，凸轮机构可简化为如图乙所示的机构，该机构由三根通过铰链连接的杆及机架组成，其中杆 OO' 绕 O' 点以角速度 ω 匀速转动，O 点的速度 v_O 方向与杆 OO' 垂直，沿杆方向速度分量 $v_O'=v_O\cos\theta$　①

设 A 点的速度为 v_A，方向竖直向上，沿杆方向的分量

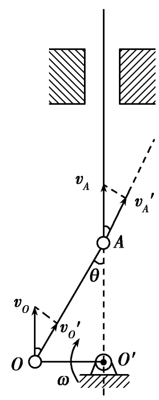
$v_A'=v_A\cos\theta$　②

由于杆 OA 长度不变，所以 $v_O'=v_A'$　③

由①②③式得：$v_A=v_O=\omega\cdot\frac{1}{2}R=\frac{1}{2}\omega R$

从动件的速度与 A 点速度相同，因此从动件的速度大小

$v=v_A=\frac{1}{2}\omega R$，方向竖直向上



乙

专题五 万有引力与航天

探考情 悟真题

5年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码49

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
天体的运动	天体的运动	2017 课标Ⅱ,19,6分	3	功、机械能守恒	运动与相互作用观念		★★☆
		2016 课标Ⅲ,14,6分	2		运动与相互作用观念		
	万有引力定律及其应用	2019 课标Ⅰ,21,6分	4	机械能守恒、牛顿第二定律、$a-x$图像	运动与相互作用观念、能量观念	图像法	
		2018 课标Ⅰ,20,6分	4		模型建构		
		2018 课标Ⅱ,16,6分	3	密度	运动与相互作用观念		
		2017 北京理综,17,6分	3		运动与相互作用观念、模型建构		
		2016 四川理综,3,6分	3		模型建构		
人造卫星、宇宙航行	人造卫星	2019 课标Ⅱ,14,6分	4	$F-h$图像	运动与相互作用观念	图像法	★★★
		2019 天津理综,1,6分	4	匀速圆周运动	模型建构		
		2019 北京理综,18,6分	4		科学推理		
		2019 江苏单科,4,3分	4		能量观念		
		2018 课标Ⅲ,15,6分	3	匀速圆周运动	模型建构	比例法	
		2018 天津理综,6,6分	3		模型建构		
		2017 课标Ⅲ,14,6分	3	动能	运动与相互作用观念		
		2016 课标Ⅰ,17,6分	3		模型建构		
		2015 课标Ⅰ,21,6分	4	机械能守恒	运动与相互作用观念		
		2015 课标Ⅱ,16,6分	4	速度的合成	模型建构		
	宇宙航行	2015 天津理综,8,6分	4	$a-r^2$图像、密度	模型建构、运动与相互作用观念	图像法	
		2015 山东理综,15,6分	3		模型建构		
		2018 北京理综,17,6分	3		模型建构		

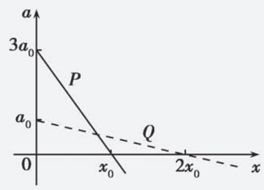
分析解读

万有引力定律是力学中一个重要的基本规律,万有引力定律在天体运动问题中的应用以及在人造卫星、宇宙飞船、航天飞机等航天技术上的应用,是社会的热点,是我国科学技术领域有巨大成就的地方,因此,成为高考的高频考点。

真题探秘

对应学生用书起始页码 50

（2019课标Ⅰ，21，6分）（多选）在星球M上将一轻弹簧竖直固定在水平桌面上，把物体P轻放在弹簧上端，P由静止向下运动，物体的加速度a与弹簧的压缩量x间的关系如图中实线所示。在另一星球N上用完全相同的弹簧，改用物体Q完成同样的过程，其a-x关系如图中虚线所示。假设两星球均为质量均匀分布的球体。已知星球M的半径是星球N的3倍，则（　）



A.M与N的密度相等

B.Q的质量是P的3倍

C.Q下落过程中的最大动能是P的4倍

D.Q下落过程中弹簧的最大压缩量是P的4倍

给定第一个条件，运用胡克定律和牛顿第二定律列方程，找出a与x的关系

给定第三个条件，运用密度公式$\rho=\frac{m}{V}$

通过各选项的设置，根据万有引力等于重力和弹簧模型中的功能关系计算

创设试题情景，隐含条件呈露——与万有引力有关

给定第二个条件，由条件一所得的关系式，确定星球的重力加速度

给定第四个条件：两星球的半径关系

❶ **核心要点**

重力与万有引力间的关系、均匀球体的密度、牛顿运动定律与图像的综合、机械能守恒定律的应用。

❷ **情景解读**

用地球上的弹簧模型类比其他星球中的实际情景。加速度为零时（物体在平衡位置）速度最大。

❸ **思路分析**

根据图像信息，结合弹簧模型的特点，利用牛顿第二定律找出物体加速度随弹簧形变量变化的数学表达式，结合a-x图像，取特殊值可求两星球的重力加速度及P、Q的质量关系；由物体在星球表面的重力等于万有引力，结合均匀球体的密度公式，可求二者的密度关系；结合弹簧模型，当物体的加速度为零时物体的速度最大，其动能最大。

❹ **素养目标**

考查了运动与相互作用观念、能量观念、模型建构、科学推理和科学论证的核心素养。

❺ **命题规律**

选取常见的物理模型，考查万有引力定律、牛顿运动定律、功能关系。

❻ **答案**

AC　详细解析见93页5年高考B组第1题

破考点　练考向

考点考向清单
考点题霸集训

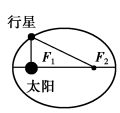
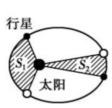
考点清单

对应学生用书起始页码 50

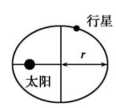
考点一　天体的运动

考向基础

一、开普勒行星运动定律

定律	内容	图示	说明
开普勒第一定律（轨道定律）	所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上		行星运动的轨道必有近日点和远日点
开普勒第二定律（面积定律）	对于每一个行星而言，太阳和行星的连线在相等的时间内扫过的面积相等		行星从近日点向远日点运动时，速率变小；从远日点向近日点运动时，速率变大

续表

定律	内容	图示	说明
开普勒第三定律（周期定律）	所有行星的轨道半长轴r的三次方与其公转周期T的二次方的比值都相等，即$r^3/T^2=k$		比值k只与被环绕天体有关，与行星无关

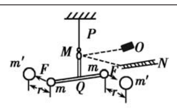
二、万有引力定律

内容	自然界中任何两个物体都相互吸引，引力的方向在它们的连线上，引力的大小F与物体的质量m_1和m_2的乘积成正比，与它们之间距离r的二次方成反比
公式	$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$，引力常量$G=6.67\times10^{-11}$ N·m²/kg²
适用条件	(1)两质点间的作用 (2)可视为质点的物体间的作用 (3)质量分布均匀的球体间的作用

续表

万有引力的特性	普遍性	任何有质量的客观存在的物体间都有这种引力
	相互性	满足牛顿第三定律
	宏观性	通常情况下万有引力非常小,只有在质量巨大的星体间或其附近空间才有意义
	确定性	两物体间的万有引力只与它们本身的质量和距离有关,而与物体所在空间的性质、是否受到其他外力等无关

三、引力常量

数值	$6.67\times10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2$
测定人	英国物理学家卡文迪许
物理意义	数值上等于两个质量都是 1 kg 的物体相距 1 m 时的相互引力
测定意义	(1)有力地证明了万有引力的存在 (2)使定量计算得以实现 (3)开创了测量弱相互作用的新时代
实验装置	 卡文迪许扭秤 P:石英丝 M:平面镜 O:光源 N:刻度尺 Q:倒立T形架
实验思想	主要思想:放大 (1)利用四个球间引力 (2)利用T形架的转动即利用力矩增大引力的可观察效果 (3)利用小平面镜对光的反射来增大可测量的扭转角度

考向突破

考向一 天体的运动

行星的运行轨道都是椭圆轨道,实际上,行星的轨道与圆十分接近,不管是椭圆轨道,还是圆周轨道,在计算或比较运行周期时都可采用开普勒第三定律:$\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{r_2^3}{T_2^2}$。

例1 哈雷彗星是人一生中唯一可以裸眼看见两次的彗星,其绕日运行的周期为 T 年,若测得它在近日点距太阳中心的距离是地球公转轨道半长轴的 N 倍,则由此估算出哈雷彗星在近日点时受到太阳的引力是在远日点受太阳引力的 ( )

A.N^2 倍　　B.$(2T^{\frac{2}{3}}-N)^2N^{-2}$倍

C.$(2T^{\frac{2}{3}}N^{-1}-1)$倍　　D.$T^{\frac{4}{3}}N^2$ 倍

解析 设哈雷彗星椭圆轨道长轴的长度为 d,地球绕日公转轨道半长轴为 R_0,由开普勒第三定律有$\frac{\left(\frac{d}{2}\right)^3}{T^2}=\frac{R_0^3}{T_0^2}$,又 $T_0=1$ 年,得 $d=2T^{\frac{2}{3}}R_0$。哈雷彗星椭圆轨道近日点离太阳的距离 $R_近=NR_0$,远日点离太阳的距离 $R_远=d-NR_0=(2T^{\frac{2}{3}}-N)R_0$,根据万有引力定律 $F=G\frac{Mm}{R^2}$,可知在近日点与远日点处受到的万有引力的比值$\frac{F_近}{F_远}=\frac{R_远^2}{R_近^2}=(2T^{\frac{2}{3}}-N)^2N^{-2}$。

答案 B

考向二 万有引力定律及其应用

一、对重力的理解

1.地球表面物体的重力与万有引力

地面上的物体所受地球的吸引力产生两个效果,其中一个分力提供了物体绕地轴做圆周运动的向心力,另一个分力等于重力。(1)在两极,向心力等于零,重力等于万有引力;(2)除两极外,物体的重力都比万有引力小;(3)在赤道处,物体的万有引力分解为两个分力($F_向$ 和 mg),两分力在一条直线上,有 $F=F_向+mg$,所以 $mg=F-F_向=\frac{GMm}{R^2}-mR\omega^2$。

2.地球表面附近(脱离地面)物体的重力与万有引力

物体在地球表面附近(脱离地面)绕地球转时,物体所受的重力等于万有引力,即 $mg=\frac{GMm}{R^2}$,R 为地球半径,g 为地球表面附近的重力加速度,上式变形得 $GM=gR^2$。

3.距地面一定高度处物体的重力与万有引力

物体在距地面一定高度 h 处绕地球转时,$mg'=\frac{GMm}{(R+h)^2}$,R 为地球半径,g'为该高度处的重力加速度。

4.在匀质球体(质量为 M)内部距离球心 r 处的质点(质量为 m)受到的万有引力等于球体内半径为 r 的同心球体(质量为 M')对其的万有引力,即 $F=G\frac{M'm}{r^2}$,而$\frac{M'}{r^3}=\frac{M}{R^3}$,而该处物体的重力在数值上等于该处的万有引力,则有$\frac{GMr^3m}{R^3r^2}=mg'$,得$\frac{GMm}{R^3}r=mg'$。因此球体内距球心 r 处的重力随着 r 的增大成正比增加。

例2 已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为0。假设地球是一半径为 R 的质量分布均匀的球体,地球表面的重力加速度大小为 g。试求:

(1)在地面上方离地面距离为$\frac{R}{2}$处的重力加速度大小与在地面下方地球内部离地面距离为$\frac{R}{2}$处的重力加速度大小之比为多少?

(2)设想地球的密度不变,自转周期不变,但地球球体半径变为原来的一半,仅考虑地球和同步卫星之间的相互作用力,则该“设想地球”的同步卫星的轨道半径与以前地球的同步卫星的轨道半径的比值是多少?

解析 (1)由万有引力等于重力知

$$\frac{GMm}{\left(R+\frac{R}{2}\right)^2}=mg_1$$

$$\frac{GM_1m}{\left(R-\frac{R}{2}\right)^2}=mg_2$$

且有$\frac{M}{M_1}=\frac{\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3}{\rho\cdot\frac{4}{3}\pi\left(\frac{R}{2}\right)^3}=\frac{8}{1}$

则$\frac{g_1}{g_2}=\frac{8}{9}$

(2)地球对同步卫星的万有引力提供同步卫星转动的向心力

$$\frac{GMm'}{r_1^2}=m'\frac{4\pi^2}{T^2}r_1$$

$$\frac{GM_1m'}{r_2^2}=m'\frac{4\pi^2}{T^2}r_2$$

$$M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$$

$$M_1=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi\left(\frac{R}{2}\right)^3$$

解得$\frac{r_2}{r_1}=\frac{1}{2}$

答案 (1)8∶9 (2)$\frac{1}{2}$

二、天体的质量、密度

通过观察绕天体做匀速圆周运动的卫星的周期 T、半径 r，由万有引力等于向心力即 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}\cdot r$，得

天体质量 $M=\dfrac{4\pi^2r^3}{GT^2}$。

(1)若知道天体的半径 R，则天体的密度

$$\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}。$$

(2)若天体的卫星环绕天体表面运动，其轨道半径 r 近似等于天体半径 R，其周期为 T，则天体密度 $\rho=\dfrac{3\pi}{GT^2}$。

例 3　随着地球资源的枯竭和空气污染如雾霾的加重，星球移民也许是最好的方案之一。美国 NASA 于 2016 年发现一颗迄今为止与地球最类似的太阳系外的行星，与地球的相似度为 0.98，并且可能拥有大气层和流动的水，这颗行星距离地球约 1400 光年，公转周期约为 37 年，这颗名叫 Kepler452b 的行星，它的半径大约是地球的 1.6 倍，重力加速度与地球的相近。已知地球的第一宇宙速度为7.9 km/s，则下列说法正确的是　(　　)

A.飞船在 Kepler452b 表面附近运行时的速度小于 7.9 km/s

B.该行星的质量约为地球质量的 1.6 倍

C.该行星的平均密度约是地球平均密度的$\dfrac{5}{8}$

D.在地球上发射航天器到达该星球，航天器的发射速度至少要达到第三宇宙速度

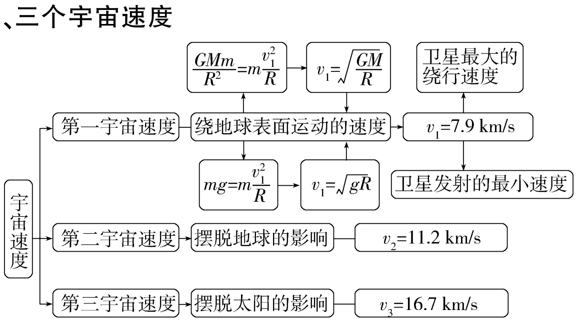
解析　飞船在该行星表面附近运行时的速度 $v_K=\sqrt{g_KR_K}=\sqrt{g_{地}\cdot 1.6R_{地}}>\sqrt{g_{地}R_{地}}=7.9$ km/s，A 项错误。由 $\dfrac{GMm}{R^2}=mg$，得 $M=\dfrac{gR^2}{G}$，则$\dfrac{M_K}{M_{地}}=\dfrac{R_K^2}{R_{地}^2}=1.6^2$，则 $M_K=1.6^2M_{地}=2.56M_{地}$，B 项错误。由 $\rho=\dfrac{M}{V}$，$V=\dfrac{4}{3}\pi R^3$，$M=\dfrac{gR^2}{G}$，得 $\rho=\dfrac{3g}{4\pi GR}$，则$\dfrac{\rho_K}{\rho_{地}}=\dfrac{R_{地}}{R_K}=\dfrac{5}{8}$，C 项正确。因为该行星在太阳系之外，则在地球上发射航天器到达该星球，航天器的发射速度至少要达到第三宇宙速度，D 项正确。

答案　CD

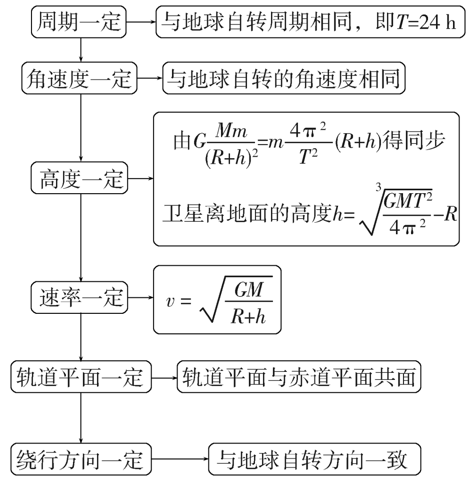
考点二　人造卫星、宇宙航行

考向基础

一、三个宇宙速度



二、同步卫星的六个"一定"



考向突破

考向一　人造卫星

1.卫星的轨道参量随轨道半径变化的规律

动力学特征	$G\dfrac{Mm}{r^2}=ma_n=m\dfrac{v^2}{r}=m\omega^2r=m(\dfrac{2\pi}{T})^2r$
向心加速度 a_n	$a_n=G\dfrac{M}{r^2}$，即 $a_n\propto\dfrac{1}{r^2}$
线速度 v	$v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$，即 $v\propto\dfrac{1}{\sqrt{r}}$
角速度 ω	$\omega=\sqrt{\dfrac{GM}{r^3}}$，即 $\omega\propto\dfrac{1}{\sqrt{r^3}}$
周期 T	$T=\sqrt{\dfrac{4\pi^2r^3}{GM}}$，即 $T\propto\sqrt{r^3}$

2.人造地球卫星的轨道

由于万有引力提供向心力，因此所有人造地球卫星的轨道圆心都在地心上。

(1)赤道轨道：卫星的轨道在赤道平面内，同步卫星轨道就是其中的一种。

(2)极地轨道：卫星的轨道过南北两极，即在垂直于赤道的平面内，如极地气象卫星轨道。

(3)其他轨道：除以上两种轨道外的卫星轨道，轨道平面一定通过地球的球心。

例 1　(2017 课标Ⅲ，14，6 分)2017 年 4 月，我国成功发射的天舟一号货运飞船与天宫二号空间实验室完成了首次交会对接，对接形成的组合体仍沿天宫二号原来的轨道(可视为圆轨道)运行。与天宫二号单独运行时相比，组合体运行的　(　　)

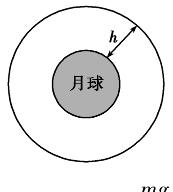
A.周期变大　　B.速率变大

C.动能变大　　D.向心加速度变大

解析　天宫二号单独运行时的轨道半径与组合体运行的轨道半径相同。由运动周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{GM}}$，可知周期不变，A 项错误。由速率 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$，可知速率不变，B 项错误。因为$(m_1+m_2)>m_1$，质量增大，故动能增大，C 项正确。向心加速度 $a=\dfrac{v^2}{r}$不变，D 项错误。

答案　C

例 2 我国相继完成"神十"与"天宫"对接、"嫦娥"携"玉兔"落月两大航天工程。某航天爱好者提出"玉兔"回家的设想:如图,将携带"玉兔"的返回系统由月球表面发射到 h 高度的轨道上,与在该轨道绕月球做圆周运动的飞船对接,然后由飞船送"玉兔"返回地球。设"玉兔"质量为 m,月球半径为 R,月面的重力加速度为 $g_月$。以月面为零势能面,"玉兔"在 h 高度的引力势能可表示为$E_p=\dfrac{GMmh}{R(R+h)}$,其中 G 为引力常量,M 为月球质量。若忽略月球的自转,从开始发射到对接完成需要对"玉兔"做的功为 ( )



A.$\dfrac{mg_月 R}{R+h}(h+2R)$ B.$\dfrac{mg_月 R}{R+h}(h+\sqrt{2}R)$

C.$\dfrac{mg_月 R}{R+h}\left(h+\dfrac{\sqrt{2}}{2}R\right)$ D.$\dfrac{mg_月 R}{R+h}\left(h+\dfrac{1}{2}R\right)$

解析 对"玉兔",由 $G\dfrac{Mm}{(R+h)^2}=m\dfrac{v^2}{R+h}$得 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}$,动能 $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2$,势能 $E_p=\dfrac{GMmh}{R(R+h)}$且 $GM=R^2g_月$,由功能关系知对"玉兔"做的功 $W=E_k+E_p=\dfrac{mg_月 R}{R+h}\left(h+\dfrac{R}{2}\right)$,故 D 项正确。

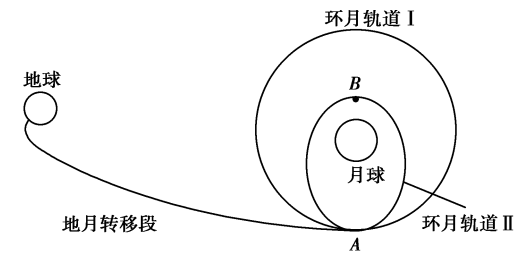
答案 D

考向二 宇宙航行

卫星变轨问题

卫星绕天体稳定运行时,万有引力提供了卫星做匀速圆周运动的向心力。由 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{v^2}{r}$,得 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$,由此可知轨道半径 r(卫星到天体中心的距离)越大,卫星的速度 v 越小。当卫星由于某种原因速度 v 突然改变时,$F_万$ 和 $m\dfrac{v^2}{r}$不再相等,因此就不能再根据 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$来确定 r 的大小。当 $F_万>m\dfrac{v^2}{r}$时,卫星做"近心"运动;当 $F_万<m\dfrac{v^2}{r}$时,卫星做"离心"运动。

例 3 (2019 安徽淮北宿州一模)2018 年 12 月 12 日 16 时 39 分,"嫦娥四号"探测器结束地月转移段飞行,按计划顺利完成近月制动,并成功进入 100~400 km 环月椭圆轨道Ⅱ。其轨道示意图如图,环月轨道Ⅰ为圆形轨道,环月轨道Ⅱ为椭圆轨道,两轨道在制动点 A 相切。则"嫦娥四号" ( )



A.由 A 向 B 点运动过程中机械能增大

B.由 A 向 B 点运动过程中速度大小不变

C.从轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ需要在 A 点进行点火加速

D.沿轨道Ⅰ运动的周期大于沿轨道Ⅱ运动的周期

解析 "嫦娥四号"在轨道Ⅱ上运动时,只有万有引力做功,故机械能守恒,故 A 错误;B 点为近月点,故 B 点的速度大于 A 点的速度,故 B 错误;从高轨道Ⅰ进入低轨道Ⅱ需要进行减速,故 C 错误;根据开普勒行星运动定律知,在轨道Ⅰ上运行时的半长轴大于在轨道Ⅱ上运行时的半长轴,故在轨道Ⅰ上运行的周期要大,故 D 正确。故选 D。

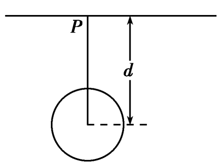
答案 D

考点集训

对应学生用书 起始页码 54

考点一 天体的运动

1.某地区的地下发现了天然气资源,如图所示,在水平地面 P 点的正下方有一球形空腔区域内储藏有天然气。假设该地区岩石均匀分布且密度为 ρ,天然气的密度远小于 ρ,可忽略不计。如果没有该空腔,地球表面正常的重力加速度大小为 g;由于空腔的存在,现测得 P 点处的重力加速度大小为 $kg(k<1)$。已知引力常量为 G,球形空腔的球心深度为 d,则此球形空腔的体积是 ( )



A.$\dfrac{kgd}{G\rho}$ B.$\dfrac{kgd^2}{G\rho}$

C.$\dfrac{(1-k)gd}{G\rho}$ D.$\dfrac{(1-k)gd^2}{G\rho}$

答案 D 如果将地下的球形空腔填满密度为 ρ 的岩石,则该地区重力加速度便回到正常值,因此,如果将空腔填满,地面上质量为 m 的物体的重力为 mg,没有填满时是 kmg,故空腔填满后引起的引力为$(1-k)mg$;根据万有引力定律,有:

$$(1-k)mg=G\frac{(\rho V)m}{d^2}$$

解得:$V=\dfrac{(1-k)gd^2}{G\rho}$,故选 D。

2.(2019 山西晋城一模,7)(多选)月球是地球的邻居,是距离我们最近的天体,不考虑月球自转,引力常量为 G,下列能计算出月球质量的数据为 ( )

A.月球的半径 R 及其表面重力加速度 g

B.人造月球卫星环绕月球做圆周运动的周期 T

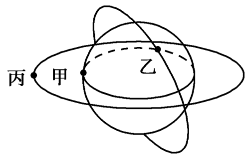
C.人造月球卫星环绕月球做圆周运动的周期 T 及其轨道半径 r

D.人造月球卫星环绕月球做圆周运动的周期 T 和卫星离月球表面高度 h

答案 AC 由于不考虑月球自转,则在月球表面附近,有 $\dfrac{GMm_0}{R^2}=m_0g$,故可得 $M=\dfrac{gR^2}{G}$,选项 A 正确;由万有引力提供人造卫星的向心力,有$\dfrac{GMm_1}{r^2}=m_1\dfrac{v^2}{r}$,$v=\dfrac{2\pi r}{T}$,联立得 $M=\dfrac{v^3T}{2\pi G}$,环绕速度 v 未知,选项 B 错误;由 $\dfrac{GMm_2}{r^2}=m_2\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2r$,可得 $M=\dfrac{4\pi^2r^3}{GT^2}$,选项 C 正确,D 错误。

考点二　人造卫星、宇宙航行

1.（**2020 届甘肃五市联考,4**）（多选）图中的甲是地球赤道上的一个物体,乙是“神舟十号”宇宙飞船(周期约 90 min),丙是地球的同步卫星,它们运行的轨道示意图如图所示,它们都绕地心做匀速圆周运动。下列有关说法中正确的是　　(　　)



A.它们运动的向心加速度大小关系是 $a_{乙}>a_{丙}>a_{甲}$

B.它们运动的线速度大小关系是 $v_{乙}<v_{丙}<v_{甲}$

C.已知甲运动的周期 $T_{甲}=24$ h,可计算出地球的密度 $\rho=\frac{3\pi}{GT_{甲}^2}$

D.已知乙运动的周期 $T_{乙}$ 及轨道半径 $r_{乙}$,可计算出地球质量 $M=\frac{4\pi^2 r_{乙}^3}{GT_{乙}^2}$

答案　AD　本题考查不同轨道卫星环绕地球运动以及地球赤道上的物体随地球转动时各物理量的大小比较,体现了物理观念中运动与相互作用要素。

乙和丙都是人造卫星,由 $G\frac{Mm}{r^2}=ma_n=\frac{mv^2}{r}$,可得 $a_n=\frac{GM}{r^2}$,$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$,所以 $a_{乙}>a_{丙}$,$v_{乙}>v_{丙}$,B 错;又因为甲和丙的角速度相同,由 $a_n=\omega^2 r$ 可得,$a_{丙}>a_{甲}$,故 $a_{乙}>a_{丙}>a_{甲}$,A 对;甲是赤道上的一个物体,不是近地卫星,故不能由 $\rho=\frac{3\pi}{GT_{甲}^2}$ 计算地球的密度,C 错;由 $G\frac{Mm}{r_{乙}^2}=mr_{乙}\frac{4\pi^2}{T_{乙}^2}$ 可得,地球质量 $M=\frac{4\pi^2 r_{乙}^3}{GT_{乙}^2}$,D 对。

2.（**2018 吉林长春外国语学校期中,7**）（多选）我国已成功发射多颗卫星,为实现国人的飞天梦想提供了大量的信息、科技支持。嫦娥一号的成功发射,标志着我国新的航天时代的到来。已知发射的卫星中,卫星 A 是极地圆形轨道卫星,卫星 B 是地球同步卫星,二者质量相同,且卫星 A 的运行周期是卫星 B 的四分之一。根据以上相关信息,比较这两颗卫星,下列说法中正确的是　　(　　)

A.卫星 A 做圆周运动的轨道圆心和地心重合

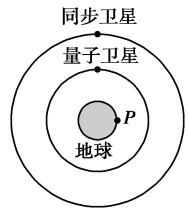
B.卫星 B 离地面较近,卫星 A 离地面较远

C.正常运行时卫星 A 的线速度比卫星 B 的线速度小

D.卫星 A 所需的向心力比卫星 B 所需的向心力大

答案　AD　万有引力提供卫星做圆周运动的向心力,A、B 卫星做圆周运动的轨道圆心和地心均重合,选项 A 正确;卫星绕地球做匀速圆周运动,万有引力提供向心力,设卫星的质量为 m、轨道半径为 r、地球质量为 M,有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,解得 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$,由题意知,极地圆形轨道卫星 A 周期较短,可知其轨道半径较小,卫星 A 离地面较近,卫星 B 离地面较远,选项 B 错误;正常运行时由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 知 A 的线速度比 B 的大,选项 C 错误;由 $F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}$ 可知,卫星 A 受到的万有引力较大,所需向心力较大,选项 D 正确。

3.（**2020 届内蒙古名校联考,5**）我国首颗量子科学实验卫星于 2016 年 8 月 16 日 1 点 40 分成功发射。量子卫星成功运行后,我国将在世界上首次实现卫星和地面之间的量子通信,构建天地一体化的量子保密通信与科学实验体系。假设量子卫星轨道在赤道平面,如图所示。已知量子卫星的轨道半径是地球半径的 m 倍,同步卫星的轨道半径是地球半径的 n 倍,图中 P 点是地球赤道上一点,由此可知　　(　　)



A.同步卫星与量子卫星的运行周期之比为 $\frac{n^3}{m^3}$

B.同步卫星与 P 点的速度之比为 $\frac{1}{n}$

C.量子卫星与同步卫星的速度之比为 $\frac{n^3}{m}$

D.量子卫星与 P 点的速度之比为 $\sqrt{\frac{n^3}{m}}$

答案　D　本题考查了开普勒第三定律、牛顿第二定律在天体运动中的应用,体现了科学思维中的科学推理和科学论证要素。

由开普勒第三定律,$\frac{R_{同}^3}{R_{量}^3}=\frac{T_{同}^2}{T_{量}^2}$,可知 $\frac{T_{同}^2}{T_{量}^2}=\frac{n^3}{m^3}$,可知同步卫星与量子卫星的运行周期之比为 $\sqrt{\frac{n^3}{m^3}}$,选项 A 错误;由于同步卫星的周期与地球自转周期相同,由 $v=\omega r=\frac{2\pi}{T}r$ 可得同步卫星与 P 点的速度之比为 $v_{同}:v_P=n:1$,选项 B 错误。由 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$,解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$,量子卫星与同步卫星的速度之比为 $\frac{v_{量}}{v_{同}}=\sqrt{\frac{R_{同}}{R_{量}}}=\sqrt{\frac{n}{m}}$,选项 C 错误。量子卫星与 P 点的速度之比为 $\frac{v_{量}}{v_P}=\frac{v_{量}}{v_{同}}\cdot\frac{v_{同}}{v_P}=\sqrt{\frac{n^3}{m}}$,选项 D 正确。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

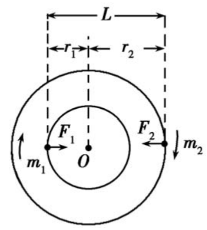
方法技巧

对应学生用书起始页码55

方法1　天体运动中的双星问题处理方法

1.宇宙中存在独立的双星系统,它们的共同特点是系统中各星的角速度相等,各自所需的向心力由彼此间的万有引力提供。

2.宇宙中四分之三以上的星体以双星的形式存在。被相互引力系在一起,互相绕转的两颗星就叫双星系统。双星是绕公共圆心转动的一对恒星。如图所示双星系统具有以下几个特点:



(1)各自需要的向心力由彼此间的万有引力提供,即

$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\omega_1^2r_1$,$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_2\omega_2^2r_2$

(2)两颗星的周期及角速度都相同,即

$T_1=T_2$,$\omega_1=\omega_2$

(3)两颗星的运动轨道半径与它们之间的距离关系为

$r_1+r_2=L$

(4)两颗星到轨道圆心的距离 r_1、r_2 与星体质量成反比

$\frac{m_1}{m_2}=\frac{r_2}{r_1}$

(5)双星的运动周期

$T=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{G(m_1+m_2)}}$

(6)双星的总质量

$m_1+m_2=\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}$

例1　双星系统由两颗恒星组成,两恒星在相互引力的作用下,分别围绕其连线上的某一点做周期相同的匀速圆周运动。研究发现,双星系统演化过程中,两星的总质量、距离和周期均可能发生变化。若某双星系统中两星做圆周运动的周期为 T,经过一段时间演化后,两星总质量变为原来的 k 倍,两星之间的距离变为原来的 n 倍,则此时圆周运动的周期为　(　　)

A.$\sqrt{\frac{n^3}{k^2}}T$　B.$\sqrt{\frac{n^3}{k}}T$　C.$\sqrt{\frac{n^2}{k}}T$　D.$\sqrt{\frac{n}{k}}T$

解析　设双星质量各为 m_1、m_2,相距 L,做圆周运动的半径分别为 r_1、r_2,则

$G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_1\frac{4\pi^2r_1}{T^2}$

$G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_2\frac{4\pi^2r_2}{T^2}$

$r_1+r_2=L$

可得$\frac{G(m_1+m_2)}{L^2}=\frac{4\pi^2L}{T^2}$

$T=\sqrt{\frac{4\pi^2L^3}{G(m_1+m_2)}}$

所以 $T'=\sqrt{\frac{n^3}{k}}T$

故B正确,A、C、D错误。

答案　B

方法2　随地球转和绕地球转问题的分析

同步卫星既是卫星又与地球赤道表面的物体"同步"运动,因此赤道上随地球自转的物体利用同步卫星这一"中介"可与地球卫星进行比较。

1.**轨道半径**:近地卫星与赤道上物体的轨道半径相同,同步卫星的轨道半径较大,$r_{同}>r_{近}=r_{物}$。

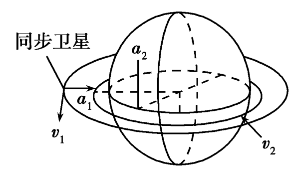
2.**运行周期**:同步卫星与赤道上物体的运行周期相同。由 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 可知,近地卫星的周期要小于同步卫星的周期,$T_{近}<T_{同}=T_{物}$。

3.**向心加速度**:由 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ 知,同步卫星的向心加速度小于近地卫星的向心加速度。

由 $a=r\omega^2=r\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ 知,同步卫星的向心加速度大于赤道上物体的向心加速度,$a_{近}>a_{同}>a_{物}$。

4.**动力学规律**:近地卫星和同步卫星都只受到万有引力作用,由万有引力充当向心力。满足万有引力充当向心力所决定的天体运行规律。赤道上的物体由万有引力和地面支持力的合力充当向心力(或说成万有引力的分力充当向心力),它的运动规律不同于卫星的运动规律。

例2　如图,同步卫星与地心的距离为 r,运行速率为 v_1,向心加速度为 a_1,地球赤道上的物体随地球自转的向心加速度为 a_2。第一宇宙速度为 v_2,地球半径为 R,则下列比值正确的是　(　　)



A.$\frac{a_1}{a_2}=\frac{r}{R}$　　B.$\frac{a_1}{a_2}=\left(\frac{R}{r}\right)^2$

C.$\frac{v_1}{v_2}=\frac{r}{R}$　　D.$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{R}{r}}$

解析　本题中涉及三个物体,其已知量排列如下

地球同步卫星:轨道半径 r,运行速率 v_1,加速度 a_1

地球赤道上的物体:轨道半径 R,随地球自转的向心加速度 a_2

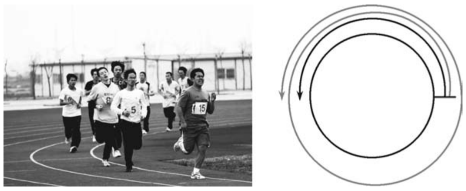
近地卫星:轨道半径 R,运行速率 v_2

对于卫星,其共同特点是万有引力提供向心力,有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$,故$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{R}{r}}$,故选项D正确;根据同步卫星的"二重性",既是卫星又是地球赤道表面的连续物,故同步卫星和地球赤道上的物体,其共同特点是角速度相等,有 $a=\omega^2r$,故$\frac{a_1}{a_2}=\frac{r}{R}$,故选项A正确。

答案　AD

方法3　天体中的“追及相遇”问题

“天体相遇”指两天体相距最近。若两天体的运转轨道在同一平面内，则两天体与中心天体在同一直线上，且位于中心天体的同侧(或异侧)时相距最近(或最远)。天体中的“追及相遇”类似于在田径场赛道上的循环长跑比赛，跑得快的每隔一段时间多跑一圈追上并超过跑得慢的。解决这类问题有两种常用方法：



1.角度关系

设天体1(离中心天体近些)与天体2(离中心天体远些)某时刻相距最近，如果经过时间 t，两天体与中心天体连线转过的角度之差等于 2π 的整数倍，则两天体相距最近，即 $\omega_1t-\omega_2t=2n\pi(n=1,2,3,\cdots)$。如果经过时间 t，两天体与中心天体连线转过的角度之差等于 π 的奇数倍，则两天体相距最远，即 $\omega_1t-\omega_2t=(2n-1)\pi(n=1,2,3,\cdots)$。

2.圈数关系

最近：$\frac{t}{T_1}-\frac{t}{T_2}=n(n=1,2,3,\cdots)$。

最远：$\frac{t}{T_1}-\frac{t}{T_2}=\frac{2n-1}{2}(n=1,2,3,\cdots)$。

例3　太阳系各行星几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳做圆周运动。当地球恰好运行到某地外行星和太阳之间，且三者几乎排成一条直线的现象，天文学称为“行星冲日”。据报道，2014年各行星冲日时间分别是：1月6日木星冲日；4月9日火星冲日；5月11日土星冲日；8月29日海王星冲日；10月8日天王星冲日。已知地球及各地外行星绕太阳运动的轨道半径如下表所示，则下列判断正确的是　(　　)

	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径(AU)	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

A.各地外行星每年都会出现冲日现象

B.在2015年内一定会出现木星冲日

C.天王星相邻两次冲日的时间间隔为土星的一半

D.地外行星中，海王星相邻两次冲日的时间间隔最短

解析　设地球和地外行星的公转周期分别为 $T_{地}$ 和 $T_{星}$，公转轨道半径分别为 $r_{地}$ 和 $r_{星}$，由 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，所以 $\frac{T_{星}}{T_{地}}=\sqrt{\left(\frac{r_{星}}{r_{地}}\right)^3}$，结合题给数据得 $T_{火}\approx1.84T_{地}$，$T_{木}\approx11.86T_{地}$，$T_{土}\approx29.28T_{地}$，$T_{天王}\approx82.82T_{地}$，$T_{海王}\approx164.32T_{地}$。设地外行星连续两次冲日的时间间隔为 t，则 $\omega_{地}t-\omega_{星}t=\frac{2\pi}{T_{地}}t-\frac{2\pi}{T_{星}}t=2\pi$，解得 $t=\frac{T_{地}T_{星}}{T_{星}-T_{地}}=\frac{T_{地}}{1-\frac{T_{地}}{T_{星}}}>T_{地}=1$ 年，故各地外行星不会每年都出现冲日现象，A项错误；$t_{木}=\frac{T_{地}T_{木}}{T_{木}-T_{地}}=\frac{1年\times11.86年}{(11.86-1)年}\approx1.09$ 年，而2014年木星冲日时间为1月6日，下次冲日时间应为2015年2月，B项正确；$t_{天王}=\frac{T_{地}T_{天王}}{T_{天王}-T_{地}}=\frac{1\times82.82}{82.82-1}$ 年 ≈1.01 年，$t_{土}=\frac{T_{地}T_{土}}{T_{土}-T_{地}}=\frac{1\times29.28}{29.28-1}$ 年 ≈1.04 年，C项错误；由 $t=\frac{T_{地}}{1-\frac{T_{地}}{T_{星}}}$ 知 $T_{星}$ 越大，t 越小，故D项正确。

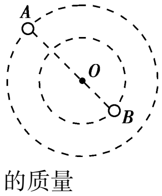
答案　BD

方法集训

对应学生用书起始页码57

方法1　天体运动中的双星问题处理方法

1.(2020届东北三校联考,8)(多选)如图为某双星系统 A、B 绕其连线上的 O 点做匀速圆周运动的示意图，若 A 星的轨道半径大于 B 星的轨道半径，双星的总质量为 M，双星间的距离为 L，其运动周期为 T，则　(　　)



A.A 的质量一定大于 B 的质量

B.A 的线速度一定大于 B 的线速度

C.L 一定，M 越大，T 越大

D.M 一定，L 越大，T 越大

答案　BD　设双星质量分别为 m_A、m_B，轨道半径分别为 R_A、R_B，角速度相等，均为 ω，根据万有引力定律可知 $G\frac{m_Am_B}{L^2}=m_A\omega^2R_A$，$G\frac{m_Am_B}{L^2}=m_B\omega^2R_B$，距离关系为 $R_A+R_B=L$，联立解得 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{R_B}{R_A}$，因为 $R_A>R_B$，所以 A 的质量一定小于 B 的质量，故A错误；根据线速度与角速度的关系有 $v_A=\omega R_A$、$v_B=\omega R_B$，因为角速度相等，半径 $R_A>R_B$，所以 A 的线速度大于 B 的线速度，故B正确；又因为 $T=\frac{2\pi}{\omega}$，联立可得周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{GM}}$，所以总质量 M 一定，两星间距离 L 越大，周期 T 越大，故C错误，D正确。

2.双星系统中，两颗星在彼此引力的作用下，绕连线上某点做匀速圆周运动。1974年物理学家约瑟夫·泰勒和拉塞尔·赫尔斯发现由两颗质量不同的星构成的双星系统，每年两星间的距离减少3.5 m，若两星运动的周期不变，则该双星系统中　(　　)

A.两星线速度大小始终相等

B.两星加速度大小始终相等

C.每年两星总质量都减小

D.每年两星总质量都增加

答案　C　双星的角速度相同，由两星间的万有引力提供向心力；对星1：$G\frac{m_1m_2}{l^2}=m_1r_1\omega^2$　①

对星2：$G\frac{m_1m_2}{l^2}=m_2r_2\omega^2$　②

由①②式得 $\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}$，质量不同，则轨道半径大小不同，线速度大小不同，则A错误。

因万有引力提供向心力,引力相等,而质量不同,则加速度不同,则B错误。

由①②式可得:$m_1+m_2=\frac{l^3\omega^2}{G}$,若周期不变,则$\omega$不变,$l$减小时,总质量减小,则C正确,D错误。

方法2　随地球转和绕地球转问题的分析

1.(2018安徽皖南八校联考,10)(多选)通过对火星的探测得知,"火卫一号"位于火星赤道正上方,它到火星中心的距离为9 450 km,绕火星一周所用的时间为7 h 39 min。"火卫一号"绕火星运动的轨道可以认为是圆轨道,引力常量$G=6.67\times10^{-11}$ N·m²/kg²。则下列说法正确的是　(　　)

A.由题中信息可以求出火星的质量

B.若知道火星的半径,还可以求出火星表面的重力加速度

C.若知道火星表面的重力加速度,还可以求出火星的第一宇宙速度

D.若知道火星自转的周期,则可以求出火星对其赤道上某物体的引力

答案　ABC　由$\frac{GMm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$可知,已知"火卫一号"做圆周运动的周期和轨道半径,可以求出中心天体的质量即火星的质量,选项A正确;若知道火星的半径R,由$\frac{GMm_0}{R^2}=m_0g_{火}$知,可以求出火星表面的重力加速度,B正确;若知道火星表面的重力加速度,由$\frac{GMm_0}{R^2}=m_0g_{火}$知,可以求出火星的半径,由$v=\sqrt{g_{火}R}$还可以求出火星的第一宇宙速度,选项C正确;因不知道火星的半径和物体的质量,故无法算出火星对其赤道上物体的引力,D错误。

2.(2018陕西西安月考,7)(多选)已知地球半径为R,地球同步卫星的轨道半径为r。假设地球赤道上的物体随地球自转的向心加速度为a_1,第一宇宙速度为v_1,地球近地卫星的周期为T_1;假设地球同步卫星的运行速率为v_2,加速度为a_2,周期为T_2。则下列比值中正确的是　(　　)

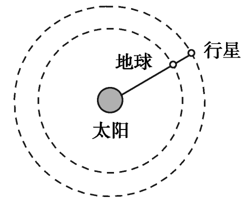
A.$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{r}{R}}$　　B.$\frac{v_1}{v_2}=\frac{R}{r}$

C.$\frac{T_1}{T_2}=\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{3}{2}}$　　D.$\frac{a_1}{a_2}=\frac{r}{R}$

答案　AC　近地卫星运行速度为第一宇宙速度,近地卫星和地球同步卫星均做圆周运动,万有引力提供向心力,故有$\frac{GMm}{R^2}=\frac{mv_1^2}{R}=m\left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2R$,$\frac{GMm'}{r^2}=\frac{m'v_2^2}{r}=m'\left(\frac{2\pi}{T_2}\right)^2r$,所以有$v_1=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,$v_2=\sqrt{\frac{GM}{r}}$,$T_1=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}$,$T_2=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$,故$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{r}{R}}$,$\frac{T_1}{T_2}=\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{3}{2}}$,故A、C正确,B错误;同步卫星运行周期和地球自转周期相同,由匀速圆周运动规律可知,$a_1=\left(\frac{2\pi}{T_2}\right)^2R$,$a_2=\left(\frac{2\pi}{T_2}\right)^2r$,则$\frac{a_1}{a_2}=\frac{R}{r}$,故D错误。

方法3　天体中的"追及相遇"问题

1.(多选)某行星和地球绕太阳公转的轨道均可视为圆,每过N年,该行星会运行到日地连线的延长线上(相距最近),如图所示,该行星与地球的公转半径之比为a,公转周期之比为b,则　(　　)



A.$a=\frac{N+1}{N}$　　B.$b=\frac{N}{N-1}$

C.$b=\left(\frac{N+1}{N}\right)^{\frac{2}{3}}$　　D.$a=\left(\frac{N}{N-1}\right)^{\frac{2}{3}}$

答案　BD　地球公转周期为$T_{地}=1$年,每过N年行星会运行到日地连线的延长线上,即地球比行星多运动1圈,有

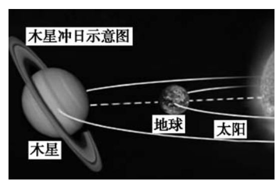
$\frac{N}{T_{地}}-\frac{N}{T_{行}}=1$,得$T_{行}=\frac{N}{N-1}T_{地}$

由题意$\frac{T_{行}}{T_{地}}=\frac{N}{N-1}=b$,故B正确,C错误。

根据开普勒第三定律有$\frac{r_{行}^3}{r_{地}^3}=\frac{T_{行}^2}{T_{地}^2}$,即$a^3=\left(\frac{N}{N-1}\right)^2$

得$a=\left(\frac{N}{N-1}\right)^{\frac{2}{3}}$,故D正确,A错误。

2.(2020届江西上饶六校联考,5)当地球位于太阳和木星之间且三者几乎排成一条直线时,称之为"木星冲日",2017年4月7日出现了一次"木星冲日"。已知木星与地球几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳近似做匀速圆周运动,木星到太阳的距离大约是地球到太阳距离的5倍。则下列说法正确的是　(　　)



A.下一次的"木星冲日"时间肯定在2019年

B.下一次的"木星冲日"时间肯定在2018年

C.木星运行的加速度比地球的大

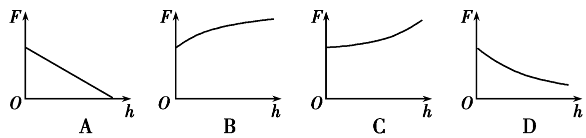
D.木星运行的周期比地球的小

答案　B　木星和地球绕太阳做圆周运动,都是以万有引力提供向心力,故加速度$a=\frac{F}{m}=\frac{GM}{r^2}$,木星到太阳的距离大约是地球到太阳距离的5倍,故木星运行的加速度比地球的小,故C错误;万有引力提供向心力,由$\frac{GMm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$,得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,木星到太阳的距离大约是地球到太阳距离的5倍,地球公转周期为$T_1=1$年,那么木星公转周期为$T_2=\sqrt{5^3}T_1\approx11.2T_1=11.2$年,那么"木星冲日"的周期为$T'$,则有$\frac{T'}{T_1}-\frac{T'}{T_2}=1$,所以$T'=\frac{T_1T_2}{T_2-T_1}\approx\frac{11.2}{10.2}$年$\approx1.1$年,因2017年4月7日出现了一次"木星冲日",下一次的"木星冲日"时间肯定在2018年,故A、D错误,B正确。

5年高考 2015-2019
对应学生用书 起始页码 227

A 组　基础题组

1.（2019 课标Ⅱ，14，6 分）2019 年 1 月，我国嫦娥四号探测器成功在月球背面软着陆。在探测器“奔向”月球的过程中，用 h 表示探测器与地球表面的距离，F 表示它所受的地球引力，能够描述 F 随 h 变化关系的图像是（　　）



答案　D　本题考查了万有引力定律公式。考查了学生对万有引力定律的理解能力，体现了运动和相互作用的物理观念及科学推理的核心素养。

由万有引力定律可知，探测器受到的万有引力 $F=\frac{GMm}{(R+h)^2}$，其中 R 为地球半径。在探测器“奔向”月球的过程中，离地面距离 h 增大，其所受的万有引力非线性减小，故选项 D 正确。

储备知识　万有引力定律公式，数学函数与图像的关联。

2.（2019 北京理综，18，6 分）2019 年 5 月 17 日，我国成功发射第 45 颗北斗导航卫星，该卫星属于地球静止轨道卫星（同步卫星）。该卫星（　　）

A.入轨后可以位于北京正上方
B.入轨后的速度大于第一宇宙速度
C.发射速度大于第二宇宙速度
D.若发射到近地圆轨道所需能量较少

答案　D　本题考查了有关人造卫星、宇宙航行的知识以及万有引力定律在航天中的应用，体现了对考生综合分析能力和科学推理能力的考查。

因地球静止轨道卫星（同步卫星）的运行轨道在地球赤道正上方，故该北斗导航卫星入轨后不能位于北京正上方，选项 A 错误；第一宇宙速度在数值上等于地球近地卫星的线速度，由万有引力提供向心力 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$，可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，同步卫星的轨道半径大于近地卫星的轨道半径，则同步卫星入轨后的速度小于第一宇宙速度，故选项 B 错误；地球卫星的发射速度应大于等于第一宇宙速度，小于第二宇宙速度，选项 C 错误；近地卫星的高度小，发射时所需的能量较少，故选项 D 正确。

疑难突破　由 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$ 可知卫星在轨道上所具有的动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{2r}$，而卫星在轨道上的势能 $E_p=-\frac{GMm}{r}$，故卫星在轨道上的机械能 $E=E_k+E_p=-\frac{GMm}{2r}$，因此相同质量卫星的运行轨道半径越大，发射时所需能量就越大。

3.（2018 课标Ⅱ，16，6 分）2018 年 2 月，我国 500 m 口径射电望远镜（天眼）发现毫秒脉冲星“J0318+0253”，其自转周期 $T=5.19$ ms。假设星体为质量均匀分布的球体，已知万有引力常量为 $6.67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$。以周期 T 稳定自转的星体的密度最小值约为（　　）

A.$5\times10^{9}\ \text{kg/m}^3$　　B.$5\times10^{12}\ \text{kg/m}^3$
C.$5\times10^{15}\ \text{kg/m}^3$　　D.$5\times10^{18}\ \text{kg/m}^3$

答案　C　本题考查万有引力定律在天体中的应用。以周期 T 稳定自转的星体，当星体的密度最小时，其表面物体受到的万有引力提供向心力，即 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，星体的密度 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，得其密度 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}=\frac{3\times3.14}{6.67\times10^{-11}\times(5.19\times10^{-3})^2}\ \text{kg/m}^3=5\times10^{15}\ \text{kg/m}^3$，故选项 C 正确。

方法技巧　万有引力定律及天体质量和密度的求解方法

（1）利用天体表面的重力加速度 g 和天体半径 R。

由于 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，故天体质量 $M=\frac{gR^2}{G}$，天体密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3g}{4\pi GR}$。

（2）通过观察卫星绕天体做匀速圆周运动的周期 T 和轨道半径 r。

①由万有引力提供向心力，即 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，得出中心天体质量 $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$；

②若已知天体半径 R，则天体的平均密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}$；

③若天体的卫星在天体表面附近环绕天体运动，可认为其轨道半径 r 等于天体半径 R，则天体密度 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$。可见，只要测出卫星环绕天体表面运动的周期 T，就可估算出中心天体的密度。

4.（2015 课标Ⅰ，21，6 分）（多选）我国发射的“嫦娥三号”登月探测器靠近月球后，先在月球表面附近的近似圆轨道上绕月运行；然后经过一系列过程，在离月面 4 m 高处做一次悬停（可认为是相对于月球静止）；最后关闭发动机，探测器自由下落。已知探测器的质量约为 1.3×10^3 kg，地球质量约为月球的 81 倍，地球半径约为月球的 3.7 倍，地球表面的重力加速度大小约为 $9.8\ \text{m/s}^2$。则此探测器（　　）

A.在着陆前的瞬间，速度大小约为 8.9 m/s
B.悬停时受到的反冲作用力约为 2×10^3 N
C.从离开近月圆轨道到着陆这段时间内，机械能守恒
D.在近月圆轨道上运行的线速度小于人造卫星在近地圆轨道上运行的线速度

答案　BD　月球表面重力加速度大小 $g_{月}=G\frac{M_{月}}{R_{月}^2}=\frac{3.7^2}{81}\cdot G\frac{M_{地}}{R_{地}^2}=\frac{3.7^2}{81}g_{地}=1.66\ \text{m/s}^2$，则探测器在月球表面着陆前的速度大小 $v_t=\sqrt{2g_{月}h}=3.6\ \text{m/s}$，A 项错；悬停时受到的反冲作用力 $F=mg_{月}=2\times10^3$ N，B 项正确；从离开近月圆轨道到着陆过程中，有发动机工作阶段，故机械能不守恒，C 项错；在近月圆轨道上运行的线速度 $v_{月}=\sqrt{g_{月}R_{月}}<\sqrt{g_{地}R_{地}}$，故 D 项正确。

解题关键　①求解探测器着陆前的瞬时速度和悬停时受到的反冲作用力，都需要先求出月球表面的重力加速度 $g_{月}$；②从离开近月圆轨道到着陆的过程中，有一部分时间发动机处于工作状态，机械能不守恒；③由 $mg=\frac{mv^2}{R}$ 得 $v=\sqrt{gR}$ 是一个重要的关系式。

评析　本题以“嫦娥三号”登月过程为背景材料,不仅考查了对天体运动知识的理解和掌握程度,也考查了匀加速运动、平衡状态、机械能守恒等多方面知识,是一道综合性很强的好题。

5.(2018北京理综,17,6分)若想检验“使月球绕地球运动的力”与“使苹果落地的力”遵循同样的规律,在已知月地距离约为地球半径60倍的情况下,需要验证　(　　)

A.地球吸引月球的力约为地球吸引苹果的力的$1/60^2$

B.月球公转的加速度约为苹果落向地面加速度的$1/60^2$

C.自由落体在月球表面的加速度约为地球表面的1/6

D.苹果在月球表面受到的引力约为在地球表面的1/60

答案　B　本题考查万有引力定律的应用。设地球半径为R,质量为M,月球绕地球公转轨道半径为r。地球对地面附近的苹果的引力$G\frac{Mm}{R^2}=mg$,所以$g=G\frac{M}{R^2}$①;地球对月球的引力提供月球公转的向心力,即$G\frac{Mm_月}{r^2}=m_月 a$,所以$a=G\frac{M}{r^2}$②;比较①②可知$a=\left(\frac{R}{r}\right)^2 g=\frac{1}{60^2}g$,故选项B正确。

解题关键　“月—地检验”

“月—地检验”的本质是要验证不论是地球上物体的运动还是月球绕地球的运动,万有引力的作用效果都是使受力物体产生加速度,且引力与加速度之间遵循牛顿运动定律。

6.(2018江苏单科,1,3分)我国高分系列卫星的高分辨对地观察能力不断提高。今年5月9日发射的“高分五号”轨道高度约为705 km,之前已运行的“高分四号”轨道高度约为36 000 km,它们都绕地球做圆周运动。与“高分四号”相比,下列物理量中“高分五号”较小的是　(　　)

A.周期　　B.角速度　　C.线速度　　D.向心加速度

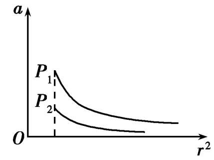
答案　A　本题考查万有引力定律及其应用、宇宙航行。设地球质量为M,卫星质量为m,轨道半径为R,卫星绕地球做匀速圆周运动,万有引力提供向心力,即$G\frac{Mm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}$,结合$v=\omega R$,$\omega=\frac{2\pi}{T}$,$a=\frac{v^2}{R}$,解得$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,$\omega=\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$,$T=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}$,$a=\frac{GM}{R^2}$,可知$v\propto\frac{1}{\sqrt{R}}$,$\omega\propto\frac{1}{\sqrt{R^3}}$,$T\propto\sqrt{R^3}$,$a\propto\frac{1}{R^2}$,由题知$R_四>R_五$,结合上面式子得$v_五>v_四$,$\omega_五>\omega_四$,$a_五>a_四$,$T_五<T_四$,故B、C、D三项均错,A项正确。

规律总结　卫星运行规律

做匀速圆周运动的卫星所受万有引力提供所需向心力,由$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}=m\omega^2R=m\frac{4\pi^2}{T^2}R=ma$可推导出

$$\left.\begin{array}{l}v=\sqrt{\frac{GM}{R}}\\ \omega=\sqrt{\frac{GM}{R^3}}\\ T=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}\\ a=\frac{GM}{R^2}\end{array}\right\}\Rightarrow 当R增大时\left\{\begin{array}{l}v减小\\ \omega减小\\ a减小\\ T增大\end{array}\right.$$

7.(2015天津理综,8,6分)(多选)P_1、P_2为相距遥远的两颗行星,距各自表面相同高度处各有一颗卫星s_1、s_2做匀速圆周运动。图中纵坐标表示行星对周围空间各处物体的引力产生的加速度a,横坐标表示物体到行星中心的距离r的平方,两条曲线分别表示P_1、P_2周围的a与r^2的反比关系,它们左端点横坐标相同。则　(　　)



A.P_1的平均密度比P_2的大

B.P_1的“第一宇宙速度”比P_2的小

C.s_1的向心加速度比s_2的大

D.s_1的公转周期比s_2的大

答案　AC　设行星的半径为R、质量为M、卫星的质量为m,对于卫星有:$G\frac{Mm}{r^2}=ma$,则$a=\frac{GM}{r^2}$。由$a-r^2$图像中两条曲线左端点横坐标相同可知,r最小值相同,说明两卫星s_1、s_2在两行星表面运行,行星P_1、P_2的半径R是相同的,而两颗卫星到各自行星表面的距离也相同,所以卫星s_1、s_2到各自行星的距离r是相同的,由图像可知,s_1的向心加速度比s_2的大,即C正确。由$a=\frac{GM}{r^2}$可知,r相同时,a大说明对应的M也大,故P_1的平均密度比P_2的大,即A正确。设在行星表面发射卫星的“第一宇宙速度”为v,则有$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$,$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,可见$R$相同时$M$大的对应的$v$也大,即$P_1$的“第一宇宙速度”大,故B错。卫星的公转周期设为$T$,则有:$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,可见$s_1$的公转周期小,故D错。

评析　本题考查了天体运动中多个常见的问题,涉及知识点较多。题目通过图像的形式展现两个行星的特征,给理解题意提升了难度,因此题目难度偏大。万有引力部分的题目大多相似,本题较有新意,可谓创新题。

8.(2018天津理综,6,6分)(多选)2018年2月2日,我国成功将电磁监测试验卫星“张衡一号”发射升空,标志我国成为世界上少数拥有在轨运行高精度地球物理场探测卫星的国家之一。通过观测可以得到卫星绕地球运动的周期,并已知地球的半径和地球表面处的重力加速度。若将卫星绕地球的运动看做是匀速圆周运动,且不考虑地球自转的影响,根据以上数据可以计算出卫星的　(　　)



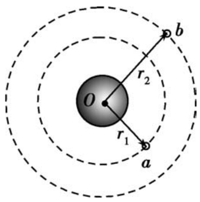
A.密度　　B.向心力的大小

C.离地高度　　D.线速度的大小

答案　CD　本题考查万有引力定律的应用。设卫星离地面的高度为h,则有$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(R+h)$,结合$m_0g=\frac{GMm_0}{R^2}$,得$h=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R=\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}-R$,又$v=\frac{2\pi}{T}(R+h)$,可见C、D项均正确。因为卫星的质量未知,故无法算出卫星向心力的大小和卫星的密度,故A、B错误。

易错警示　对地面上的物体有$m_0g=G\frac{Mm_0}{R^2}$,结合$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$可求出地球的密度,但题目要求算出卫星的密度,故不细心审题,可能会被已知地球的半径和地球表面处的重力加速度误导而错选A。

9.(2015 福建理综,14,6 分)如图,若两颗人造卫星 a 和 b 均绕地球做匀速圆周运动,a、b 到地心 O 的距离分别为 r_1、r_2,线速度大小分别为 v_1、v_2,则　　(　　)



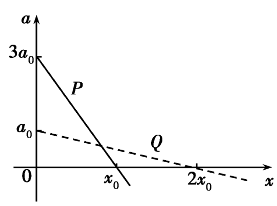
A.$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{r_2}{r_1}}$　　B.$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{r_1}{r_2}}$

C.$\frac{v_1}{v_2}=(\frac{r_2}{r_1})^2$　　D.$\frac{v_1}{v_2}=(\frac{r_1}{r_2})^2$

答案　A　万有引力提供卫星绕地球做匀速圆周运动的向心力,有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$,所以 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$,$\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{r_2}{r_1}}$,A 项正确。

B 组　提升题组

1.(2019 课标Ⅰ,21,6 分)(多选)在星球 M 上将一轻弹簧竖直固定在水平桌面上,把物体 P 轻放在弹簧上端,P 由静止向下运动,物体的加速度 a 与弹簧的压缩量 x 间的关系如图中实线所示。在另一星球 N 上用完全相同的弹簧,改用物体 Q 完成同样的过程,其 a-x 关系如图中虚线所示。假设两星球均为质量均匀分布的球体。已知星球 M 的半径是星球 N 的 3 倍,则　　(　　)



A.M 与 N 的密度相等

B.Q 的质量是 P 的 3 倍

C.Q 下落过程中的最大动能是 P 的 4 倍

D.Q 下落过程中弹簧的最大压缩量是 P 的 4 倍

答案　AC　本题考查了重力与万有引力的关系、密度、牛顿第二定律与图像的综合应用、机械能守恒定律等,以及理解能力、推理能力、综合分析能力及应用数学知识处理物理问题的能力,难度较大。本题体现了运动与相互作用观念、能量观念、模型建构、科学推理和科学论证的核心素养,加强了考生以科学态度探究科学本质的责任感。

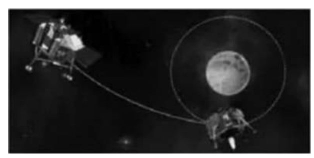
对物体在弹簧上向下运动的过程应用牛顿第二定律得 $mg-kx=ma$,则 $a=g-\frac{k}{m}x$,结合 a-x 图像可得,重力加速度 $g_M=3a_0$、$g_N=a_0$,$\frac{k}{m_P}=\frac{3a_0}{x_0}$、$\frac{k}{m_Q}=\frac{a_0}{2x_0}$,联立可解得 $m_Q=6m_P$,故 B 选项错。认为星球表面的重力等于万有引力,即 $mg=G\frac{Mm}{R^2}$,则星球质量 $M=\frac{R^2g}{G}$,星球的密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{\frac{R^2g}{G}}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3g}{4\pi GR}$,由此可知 M 星球与 N 星球的密度之比为 $\frac{\rho_M}{\rho_N}=\frac{g_MR_N}{g_NR_M}=\frac{3a_0}{a_0}\times\frac{1}{3}=1$,故 A 选项正确。设弹簧的最大压缩量为 x_m,此时物体动能为零,由机械能守恒定律有 $mgx_m=\frac{1}{2}kx_m^2$,则 $x_m=\frac{2mg}{k}$,由此可得 $\frac{x_{mN}}{x_{mM}}=\frac{m_Qg_N}{m_Pg_M}=6\times\frac{a_0}{3a_0}=2$,故 D 选项错。当物体加速度等于零时,速度最大,动能最大,由机械能守恒定律有,$E_{km}=mgx'-\frac{1}{2}kx'^2$,结合 $mg=kx'$可得 $E_{km}=\frac{1}{2}kx'^2$,此时 P、Q 对应的弹簧的压缩量分别为 x_0 和 $2x_0$,故有 $\frac{E_{kmQ}}{E_{kmP}}=\left(\frac{2x_0}{x_0}\right)^2=4$,故 C 选项正确。

疑难突破　(1)数形结合获取有用信息是解决本题的突破口,由 $a=g-\frac{k}{m}x$ 结合图像的纵截距和斜率即可得物理量间的关系。

(2)当物体先加速后减速运动时,合力等于零时对应速度最大的运动状态。

(3)应用机械能守恒定律是分析 C、D 选项的关键。弹簧的弹性势能 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$ 为必备知识。

2.(2019 天津理综,1,6 分)2018 年 12 月 8 日,肩负着亿万中华儿女探月飞天梦想的嫦娥四号探测器成功发射,“实现人类航天器首次在月球背面巡视探测,率先在月背刻上了中国足迹”。已知月球的质量为 M、半径为 R,探测器的质量为 m,引力常量为 G,嫦娥四号探测器围绕月球做半径为 r 的匀速圆周运动时,探测器的　　(　　)



A.周期为 $\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$　　B.动能为 $\frac{GMm}{2R}$

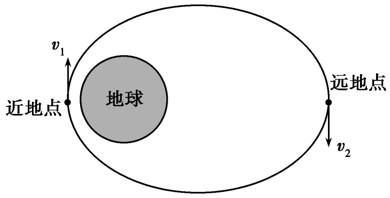
C.角速度为 $\sqrt{\frac{Gm}{r^3}}$　　D.向心加速度为 $\frac{GM}{R^2}$

答案　A　本题为天体运动中的人造卫星运动问题,考查了考生应用万有引力定律和圆周运动知识进行分析推理的能力。物理核心素养中的模型建构、运动与相互作用观念等要素在本题中均有体现。题目以嫦娥四号探测器的发射与运行为背景,厚植着深深的爱国情怀。

探测器围绕月球做匀速圆周运动,月球对探测器的引力充当向心力,则 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r=ma_{向}$,解得 $a_{向}=G\frac{M}{r^2}$,$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$,$E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{2r}$,故 A 项正确。

解题关键　准确掌握卫星做匀速圆周运动时万有引力提供向心力的规律,是解决这类问题的关键。

3.(2019 江苏单科,4,3 分)1970 年成功发射的“东方红一号”是我国第一颗人造地球卫星,该卫星至今仍沿椭圆轨道绕地球运动。如图所示,设卫星在近地点、远地点的速度分别为 v_1、v_2,近地点到地心的距离为 r,地球质量为 M,引力常量为 G。则　　(　　)



A.$v_1>v_2, v_1=\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　B.$v_1>v_2, v_1>\sqrt{\frac{GM}{r}}$

C.$v_1<v_2, v_1=\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　D.$v_1<v_2, v_1>\sqrt{\frac{GM}{r}}$

答案　B　本题考查人造卫星沿椭圆轨道运动内容,培养了理解能力和推理能力,体现了核心素养中的能量观念及模型建构要素,有利于培养学生爱国主义价值观。

卫星沿椭圆轨道运动时,只受万有引力作用,机械能守恒,在卫星由近及远的运动过程中,卫星的部分动能转化为势能,速度逐渐减小,故 $v_1>v_2$。若卫星过近地点做半径为 r 的匀速圆周运动,则满足 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$,可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$。现卫星过近地点做离心运动,则 $v_1>\sqrt{\frac{GM}{r}}$,故选项 B 正确,A、C、D 错误。

解题关键　①卫星运动过程中机械能守恒,动能和势能相互转化。②当提供的向心力不能满足所需时卫星做离心运动,当提供的向心力大于所需时卫星做向心运动。

4.(2018 课标Ⅲ,15,6 分)为了探测引力波,"天琴计划"预计发射地球卫星 P,其轨道半径约为地球半径的 16 倍;另一地球卫星 Q 的轨道半径约为地球半径的 4 倍。P 与 Q 的周期之比约为　(　　)

A.2∶1　　B.4∶1

C.8∶1　　D.16∶1

答案　C　本题考查万有引力定律、向心力公式、周期公式。卫星 P、Q 围绕地球做匀速圆周运动,万有引力提供向心力,即 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$,则 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}$,$\frac{T_P}{T_Q}=\sqrt{\frac{R_P^3}{R_Q^3}}=\frac{8}{1}$,选项 C 正确。

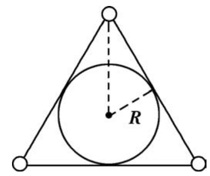
一题多解　卫星 P、Q 围绕地球做匀速圆周运动,满足开普勒第三定律,$\frac{R_P^3}{T_P^2}=\frac{R_Q^3}{T_Q^2}$,解得 $\frac{T_P}{T_Q}=\sqrt{\frac{R_P^3}{R_Q^3}}=\frac{8}{1}$,选项 C 正确。

5.(2016 课标Ⅰ,17,6 分)利用三颗位置适当的地球同步卫星,可使地球赤道上任意两点之间保持无线电通讯。目前,地球同步卫星的轨道半径约为地球半径的 6.6 倍。假设地球的自转周期变小,若仍仅用三颗同步卫星来实现上述目的,则地球自转周期的最小值约为　(　　)

A.1 h　　B.4 h

C.8 h　　D.16 h

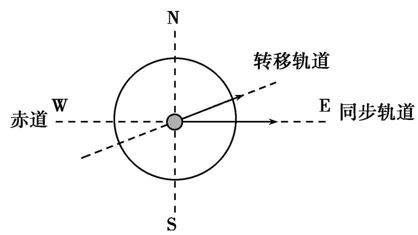
答案　B　卫星围绕地球运转时,万有引力提供卫星做圆周运动的向心力,即 $\frac{GMm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$,解得周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,由此可见,卫星的轨道半径 r 越小,周期 T 就越小,周期最小时,三颗卫星连线构成的等边三角形与赤道圆相切,如图所示,此时卫星轨道半径 $r=2R$,$T=2\pi\sqrt{\frac{(2R)^3}{GM}}$,又因为 $T_0=2\pi\sqrt{\frac{(6.6R)^3}{GM}}=24$ h,所以 $T=\sqrt{\left(\frac{2R}{6.6R}\right)^3}\cdot T_0=\sqrt{\left(\frac{1}{3.3}\right)^3}\times 24$ h≈4 h,B 正确。



方法技巧　天体运动规律中,有一个常用的重要推论,就是环绕周期 T 与轨道半径 r 的关系式:$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,该式在天体运动中有着广泛的应用,在平时学习中把它作为一个二级结论熟记十分必要。

解题关键　①地球同步卫星做圆周运动的周期与地球自转的周期相等。②目前的三颗地球同步卫星对地球赤道的扫描区域是有重叠的。③地球自转周期的最小值对应地球同步卫星运动周期的最小值,同时也对应地球同步卫星高度的最小值。④地球同步卫星高度最小时三颗星连线构成的等边三角形与赤道圆相切。

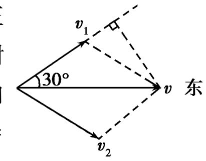
6.(2015 课标Ⅱ,16,6 分)由于卫星的发射场不在赤道上,同步卫星发射后需要从转移轨道经过调整再进入地球同步轨道。当卫星在转移轨道上飞经赤道上空时,发动机点火,给卫星一附加速度,使卫星沿同步轨道运行。已知同步卫星的环绕速度约为 3.1×10^3 m/s,某次发射卫星飞经赤道上空时的速度为 1.55×10^3 m/s,此时卫星的高度与同步轨道的高度相同,转移轨道和同步轨道的夹角为 30°,如图所示。发动机给卫星的附加速度的方向和大小约为　(　　)



A.西偏北方向,1.9×10^3 m/s　　B.东偏南方向,1.9×10^3 m/s

C.西偏北方向,2.7×10^3 m/s　　D.东偏南方向,2.7×10^3 m/s

答案　B　同步卫星的速度 v 方向为正东方向,设卫星在转移轨道的速度为 v_1,附加速度为 v_2,由速度的合成可知 v_2 的方向为东偏南方向,其大小为 $v_2=\sqrt{(v\cos30°-v_1)^2+(v\sin30°)^2}\approx1.9\times10^3$ m/s,故 B 选项正确。



解题关键　①当卫星运动到转移轨道和同步轨道交会处时,不仅需要调整卫星的速度大小,而且还需要调整卫星运动的方向。②需要将此卫星在转移轨道的速度、附加速度和同步卫星的环绕速度放在同一平面内考虑。③正确画出如解析中的速度合成图是正确解答的关键。

7.(2017 北京理综,17,6 分)利用引力常量 G 和下列某一组数据,不能计算出地球质量的是　(　　)

A.地球的半径及重力加速度(不考虑地球自转)

B.人造卫星在地面附近绕地球做圆周运动的速度及周期

C.月球绕地球做圆周运动的周期及月球与地球间的距离

D.地球绕太阳做圆周运动的周期及地球与太阳间的距离

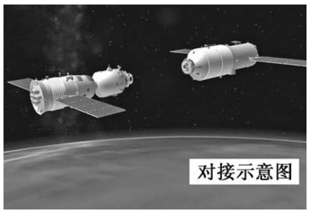
答案　D　本题考查天体运动。已知地球半径 R 和重力加速度 g,则 $mg=G\frac{M_{地}m}{R^2}$,所以 $M_{地}=\frac{gR^2}{G}$,可求 $M_{地}$;近地卫星做圆周运动,$G\frac{M_{地}m}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$,$T=\frac{2\pi R}{v}$,可解得 $M_{地}=\frac{v^2R}{G}=\frac{v^3T}{2\pi G}$,已

知 v、T 可求 $M_{地}$；对于月球：$G\frac{M_{地}\cdot m}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T_{月}^2}r$，则 $M_{地}=\frac{4\pi^2r^3}{GT_{月}^2}$，已知 r、$T_{月}$ 可求 $M_{地}$；同理，对地球绕太阳的圆周运动，只可求出太阳质量 $M_{太}$，故此题符合题意的选项是 D 项。

方法技巧　中心天体质量的求解途径

此题提示我们可以从两个方面求得中心天体质量：①已知中心天体的半径和重力加速度。②已知中心天体的行星或卫星的运动参数。

8.（2016 天津理综，3，6 分）我国即将发射“天宫二号”空间实验室，之后发射“神舟十一号”飞船与“天宫二号”对接。假设“天宫二号”与“神舟十一号”都围绕地球做匀速圆周运动，为了实现飞船与空间实验室的对接，下列措施可行的是（　　）


对接示意图

A.使飞船与空间实验室在同一轨道上运行，然后飞船加速追上空间实验室实现对接

B.使飞船与空间实验室在同一轨道上运行，然后空间实验室减速等待飞船实现对接

C.飞船先在比空间实验室半径小的轨道上加速，加速后飞船逐渐靠近空间实验室，两者速度接近时实现对接

D.飞船先在比空间实验室半径小的轨道上减速，减速后飞船逐渐靠近空间实验室，两者速度接近时实现对接

答案　C　对于绕地球做圆周运动的人造天体，由 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，有 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}\propto\frac{1}{\sqrt{r}}$，可见 v 与 r 是一一对应的。在同一轨道上运行速率相同，不能对接；而从同一轨道上加速或减速时由于发生变轨，二者不能处于同一轨道上，亦不能对接，A、B 皆错误。飞船处于半径较小的轨道上，要实现对接，需增大飞船的轨道半径，飞船加速则轨道半径变大，飞船减速则轨道半径变小，C 正确，D 错误。

9.（2015 广东理综，20，6 分）（多选）在星球表面发射探测器，当发射速度为 v 时，探测器可绕星球表面做匀速圆周运动；当发射速度达到 $\sqrt{2}v$ 时，可摆脱星球引力束缚脱离该星球。已知地球、火星两星球的质量比约为 10∶1，半径比约为 2∶1，下列说法正确的有（　　）

A.探测器的质量越大，脱离星球所需要的发射速度越大

B.探测器在地球表面受到的引力比在火星表面的大

C.探测器分别脱离两星球所需要的发射速度相等

D.探测器脱离星球的过程中，势能逐渐增大

答案　BD　设星球的质量为 M，探测器的质量为 m，则当探测器绕星球表面做圆周运动时有 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，$R$ 是星球半径，可见 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，$\sqrt{2}v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$，探测器脱离星球所需要的发射速度与探测器质量无关，$\frac{v_{地}}{v_{火}}=\sqrt{\frac{M_{地}R_{火}}{M_{火}R_{地}}}=\sqrt{5}$，A、C 皆错误；由 $F=\frac{GMm}{R^2}$ 有 $\frac{F_{地}}{F_{火}}=\frac{M_{地}R_{火}^2}{M_{火}R_{地}^2}=\frac{5}{2}$，故 B 正确；探测器脱离星球的过程中，星球对探测器的万有引力做负功，故其势能增大，D 正确。

10.（2018 课标Ⅰ，20，6 分）（多选）2017 年，人类第一次直接探测到来自双中子星合并的引力波。根据科学家们复原的过程，在两颗中子星合并前约 100 s 时，它们相距约 400 km，绕二者连线上的某点每秒转动 12 圈。将两颗中子星都看做是质量均匀分布的球体，由这些数据、万有引力常量并利用牛顿力学知识，可以估算出这一时刻两颗中子星（　　）

A.质量之积　　B.质量之和

C.速率之和　　D.各自的自转角速度

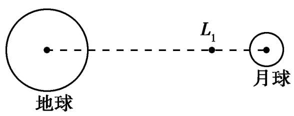
答案　BC　本题考查万有引力定律的应用等知识。双星系统由彼此间万有引力提供向心力，得 $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\omega_1^2r_1$，$G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_2\omega_2^2r_2$，且 $T=\frac{2\pi}{\omega}$，两颗星的周期及角速度相同，即 $T_1=T_2=T$，$\omega_1=\omega_2=\omega$，两颗星的轨道半径 $r_1+r_2=L$，解得 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{r_2}{r_1}$，$m_1+m_2=\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}$，因为 $\frac{r_2}{r_1}$ 未知，故 m_1 与 m_2 之积不能求出，则选项 A 错误，B 正确。各自的自转角速度不可求，选项 D 错误。速率之和 $v_1+v_2=\omega r_1+\omega r_2=\omega\cdot L$，故 C 项正确。

规律总结　比值关系类问题解法

此类题目的通用解法是依据相对应的原理、规律、关系列出必要的方程组，解出相应关系表达式，结合题目的已知条件及常数，判断相应的关系和结果。

C 组　教师专用题组

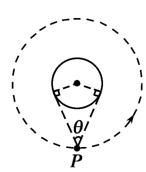
1.（2015 山东理综，15，6 分）如图，拉格朗日点 L_1 位于地球和月球连线上，处在该点的物体在地球和月球引力的共同作用下，可与月球一起以相同的周期绕地球运动。据此，科学家设想在拉格朗日点 L_1 建立空间站，使其与月球同周期绕地球运动。以 a_1、a_2 分别表示该空间站和月球向心加速度的大小，a_3 表示地球同步卫星向心加速度的大小。以下判断正确的是（　　）



A.$a_2>a_3>a_1$　B.$a_2>a_1>a_3$　C.$a_3>a_1>a_2$　D.$a_3>a_2>a_1$

答案　D　地球同步卫星受月球引力可以忽略不计，表明地球同步卫星距离月球要比空间站距离月球更远，则地球同步卫星轨道半径 r_3、空间站轨道半径 r_1、月球轨道半径 r_2 之间的关系为 $r_2>r_1>r_3$，由 $\frac{GMm}{r^2}=ma$ 知，$a_3=\frac{GM}{r_3^2}$，$a_2=\frac{GM}{r_2^2}$，所以 $a_3>a_2$；由题意知空间站与月球周期相等，由 $ma=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$ 知，$a_1=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r_1$，$a_2=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r_2$，所以 $a_2>a_1$。因此 $a_3>a_2>a_1$，D 正确。

2.（2014 广东理综，21，6 分）（多选）如图所示，飞行器 P 绕某星球做匀速圆周运动，星球相对飞行器的张角为 θ，下列说法正确的是（　　）



A.轨道半径越大，周期越长

B.轨道半径越大，速度越大

C.若测得周期和张角，可得到星球的平均密度

D.若测得周期和轨道半径，可得到星球的平均密度

答案　AC　由 $G\dfrac{Mm}{R^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}R$ 得 $T=\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}\cdot 2\pi$,可知A正确。由 $G\dfrac{Mm}{R^2}=m\dfrac{v^2}{R}$ 得 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$,可知B错误。设轨道半径为 R,星球半径为 R_0,由 $M=\dfrac{4\pi^2R^3}{GT^2}$ 和 $V=\dfrac{4}{3}\pi R_0^3$ 得 $\rho=\dfrac{3\pi}{GT^2}\left(\dfrac{R}{R_0}\right)^3=\dfrac{3\pi}{GT^2}\left(\dfrac{1}{\sin\dfrac{\theta}{2}}\right)^3$,可判定C正确。当测得 T 和 R 而不能测得 R_0 时,不能得到星球的平均密度,故D错误。

3.(2014福建理综,14,6分)若有一颗"宜居"行星,其质量为地球的 p 倍,半径为地球的 q 倍,则该行星卫星的环绕速度是地球卫星环绕速度的　　(　　)

A.$\sqrt{pq}$ 倍　　B.$\sqrt{\dfrac{q}{p}}$ 倍　　C.$\sqrt{\dfrac{p}{q}}$ 倍　　D.$\sqrt{pq^3}$ 倍

答案　C　对于中心天体的卫星,$G\dfrac{Mm}{R^2}=m\dfrac{v^2}{R}$,$v=\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$,设该行星卫星的环绕速度为 v',地球卫星的环绕速度为 v,则 $\dfrac{v'}{v}=\sqrt{\dfrac{M'}{M}\cdot\dfrac{R}{R'}}=\sqrt{\dfrac{p}{q}}$,C正确。

4.(2016四川理综,3,6分)国务院批复,自2016年起将4月24日设立为"中国航天日"。1970年4月24日我国首次成功发射的人造卫星东方红一号,目前仍然在椭圆轨道上运行,其轨道近地点高度约为440 km,远地点高度约为2 060 km;1984年4月8日成功发射的东方红二号卫星运行在赤道上空35 786 km的地球同步轨道上。设东方红一号在远地点的加速度为 a_1,东方红二号的加速度为 a_2,固定在地球赤道上的物体随地球自转的加速度为 a_3,则 a_1、a_2、a_3 的大小关系为(　　)



A.$a_2>a_1>a_3$　　B.$a_3>a_2>a_1$　　C.$a_3>a_1>a_2$　　D.$a_1>a_2>a_3$

答案　D　对于东方红一号与东方红二号,由 $G\dfrac{Mm}{r^2}=ma$ 得:$a=\dfrac{GM}{r^2}$,由此式可知 $a_1>a_2$。对于地球同步卫星东方红二号和地球赤道上的物体,由 $a=\omega^2r=\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2r$ 可知,$a_2>a_3$。综上可见,$a_1>a_2>a_3$,故D正确。

易错点拨　由 $a=\dfrac{GM}{r^2}$ 比较加速度的大小,只适用于正常运行的卫星,对赤道上的物体是不成立的。

5.(2015江苏单科,3,3分)过去几千年来,人类对行星的认识与研究仅限于太阳系内,行星"51 peg b"的发现拉开了研究太阳系外行星的序幕。"51 peg b"绕其中心恒星做匀速圆周运动,周期约为4天,轨道半径约为地球绕太阳运动半径的 $\dfrac{1}{20}$。该中心恒星与太阳的质量比约为　　(　　)

A.$\dfrac{1}{10}$　　B.1　　C.5　　D.10

答案　B　对行星"51 peg b" $\dfrac{GM_1m_1}{r_1^2}=m_1\left(\dfrac{2\pi}{T_1}\right)^2r_1$

对地球 $\dfrac{GM_2m_2}{r_2^2}=m_2\left(\dfrac{2\pi}{T_2}\right)^2r_2$

化简即得 $\dfrac{M_1}{M_2}=\left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^2\cdot\left(\dfrac{r_1}{r_2}\right)^3$

代入数据 $\dfrac{M_1}{M_2}=\left(\dfrac{365}{4}\right)^2\cdot\left(\dfrac{1}{20}\right)^3\approx 1$

因此B正确。

6.(2015重庆理综,2,6分)宇航员王亚平在"天宫1号"飞船内进行了我国首次太空授课,演示了一些完全失重状态下的物理现象。若飞船质量为 m,距地面高度为 h,地球质量为 M,半径为 R,引力常量为 G,则飞船所在处的重力加速度大小为　　(　　)

A.0　　B.$\dfrac{GM}{(R+h)^2}$　　C.$\dfrac{GMm}{(R+h)^2}$　　D.$\dfrac{GM}{h^2}$

答案　B　对飞船应用牛顿第二定律有:$G\dfrac{Mm}{(R+h)^2}=mg_h$,则 $g_h=\dfrac{GM}{(R+h)^2}$,故B正确。

7.(2015北京理综,16,6分)假设地球和火星都绕太阳做匀速圆周运动,已知地球到太阳的距离小于火星到太阳的距离,那么　　(　　)

A.地球公转周期大于火星的公转周期

B.地球公转的线速度小于火星公转的线速度

C.地球公转的加速度小于火星公转的加速度

D.地球公转的角速度大于火星公转的角速度

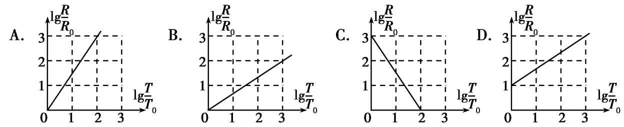
答案　D　据太阳对行星的引力提供行星运动所需的向心力得 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2r=ma_{向}$,解得 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$,$\omega=\sqrt{\dfrac{GM}{r^3}}$,$T=2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{GM}}$,$a_{向}=\dfrac{GM}{r^2}$,由题意知,$r_{地}<r_{火}$,所以 $v_{地}>v_{火}$,$\omega_{地}>\omega_{火}$,$T_{地}<T_{火}$,$a_{地}>a_{火}$,D项正确。

8.(2014浙江理综,16,6分)长期以来"卡戎星(Charon)"被认为是冥王星唯一的卫星,它的公转轨道半径 $r_1=19\ 600$ km,公转周期 $T_1=6.39$ 天。2006年3月,天文学家新发现两颗冥王星的小卫星,其中一颗的公转轨道半径 $r_2=48\ 000$ km,则它的公转周期 T_2 最接近于　　(　　)

A.15天　　B.25天　　C.35天　　D.45天

答案　B　由 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$,解得 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{GM}}$,所以 $\dfrac{T_2}{T_1}=\sqrt{\left(\dfrac{r_2}{r_1}\right)^3}$,解得 $T_2\approx 24.49$ 天,所以B项正确。

9.(2010课标全国,20,6分)太阳系中的8大行星的轨道均可以近似看成圆轨道。下列4幅图是用来描述这些行星运动所遵从的某一规律的图像。图中坐标系的横轴是 $\lg(T/T_0)$,纵轴是 $\lg(R/R_0)$;这里 T 和 R 分别是行星绕太阳运行的周期和相应的圆轨道半径,T_0 和 R_0 分别是水星绕太阳运行的周期和相应的圆轨道半径。下列4幅图中正确的是　　(　　)



答案　B　取其中一行星为研究对象,设其质量为 m,轨道半径为 R,太阳的质量为 M,则 $G\dfrac{Mm}{R^2}=m\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2\cdot R$,得 $\dfrac{R^3}{T^2}=\dfrac{GM}{4\pi^2}$,

水星 $\frac{R_0^3}{T_0^2}=\frac{GM}{4\pi^2}$。所以 $\left(\frac{R}{R_0}\right)^3=\left(\frac{T}{T_0}\right)^2$，所以 $3\lg\left(\frac{R}{R_0}\right)=2\lg\left(\frac{T}{T_0}\right)$，所以 B 项对。

评析 此题是用图像来表述开普勒第三定律。难度中等。要先根据天体运动的规律，写出两坐标轴分别表示的物理量的关系式，再去判断图像的正误。

10.（2017 江苏单科，6，4 分）（多选）“天舟一号”货运飞船于 2017 年 4 月 20 日在文昌航天发射中心成功发射升空。与“天宫二号”空间实验室对接前，“天舟一号”在距地面约 380 km的圆轨道上飞行，则其（　　）

A.角速度小于地球自转角速度

B.线速度小于第一宇宙速度

C.周期小于地球自转周期

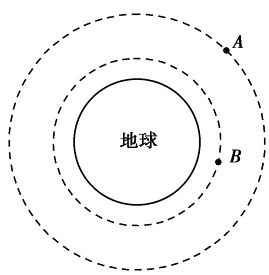
D.向心加速度小于地面的重力加速度

答案　BCD　本题考查万有引力定律、人造卫星的运行规律。由于地球自转的角速度、周期等物理量与地球同步卫星一致，故“天舟一号”可与地球同步卫星比较。由于“天舟一号”的轨道半径小于同步卫星的轨道半径，所以，角速度是“天舟一号”大，周期是同步卫星大，选项 A 错，C 对；第一宇宙速度是近地卫星的环绕速度，故“天舟一号”的线速度小于第一宇宙速度，B 对；对“天舟一号”有 $G\frac{M_{地}m}{(R_{地}+h)^2}=ma_{向}$，所以 $a_{向}=G\frac{M_{地}}{(R_{地}+h)^2}$，而地面重力加速度 $g=G\frac{M_{地}}{R_{地}^2}$，故 $a_{向}<g$，D 选项正确。

方法诠释　人造卫星的运行特点

对于人造地球卫星环绕地球的运行规律，考生应掌握如下的特点：卫星的运行轨道半径决定着运行的参数，当半径增大时，三度（线速度、角速度、加速度）均减小，而周期变大。

11.（2016 江苏单科，7，4 分）（多选）如图所示，两质量相等的卫星 A、B 绕地球做匀速圆周运动，用 R、T、E_k、S 分别表示卫星的轨道半径、周期、动能、与地心连线在单位时间内扫过的面积。下列关系式正确的有（　　）



A.$T_A>T_B$　　B.$E_{kA}>E_{kB}$　　C.$S_A=S_B$　　D.$\frac{R_A^3}{T_A^2}=\frac{R_B^3}{T_B^2}$

答案　AD　卫星做匀速圆周运动时有 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}=mR\omega^2=mR\frac{4\pi^2}{T^2}$，则 $T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}\propto\sqrt{R^3}$，故 $T_A>T_B$，$\frac{T_A^2}{T_B^2}=\frac{R_A^3}{R_B^3}$，A、D 皆正确；$E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{2R}\propto\frac{1}{R}$，故 $E_{kA}<E_{kB}$，B 错误；$S=\frac{1}{2}\omega R^2=\frac{1}{2}\sqrt{GMR}\propto\sqrt{R}$，故 C 错误。

方法技巧　在天体做匀速圆周运动中，紧抓万有引力提供向心力，再结合待求量选择合适的向心力表达式，可以事半功倍哦。

审题指导　灵活应用向心力表达式，知道在卫星的运动中万有引力提供向心力。

评析 本题考查了人造卫星绕地球做圆周运动的周期、动能、与地心连线在单位时间内扫过的面积等基本量，设问基础，难度偏易。

12.（2013 课标Ⅰ，20，6 分）（多选）2012 年 6 月 18 日，神舟九号飞船与天宫一号目标飞行器在离地面 343 km 的近圆形轨道上成功进行了我国首次载人空间交会对接。对接轨道所处的空间存在极其稀薄的大气。下列说法正确的是（　　）

A.为实现对接，两者运行速度的大小都应介于第一宇宙速度和第二宇宙速度之间

B.如不加干预，在运行一段时间后，天宫一号的动能可能会增加

C.如不加干预，天宫一号的轨道高度将缓慢降低

D.航天员在天宫一号中处于失重状态，说明航天员不受地球引力作用

答案　BC　可以认为目标飞行器是在圆形轨道上做匀速圆周运动，由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 知轨道半径越大时运行速度越小。第一宇宙速度为当 r 等于地球半径时的运行速度，即最大的运行速度，故目标飞行器的运行速度应小于第一宇宙速度，A 错误；如不加干预，稀薄大气对天宫一号的阻力做负功，使其机械能减小，引起高度的下降，从而地球引力又对其做正功，当地球引力所做正功大于空气阻力所做负功时，天宫一号的动能就会增加，故 B、C 皆正确；航天员处于完全失重状态的原因是地球对航天员的万有引力全部用来提供使航天员随天宫一号绕地球运行的向心力了，而非航天员不受地球引力作用，故 D 错误。

解题关键　关键词：近圆形轨道，交会对接，存在极其稀薄的大气。

审题指导　（1）题目中的“近圆形轨道”说明可认为神舟九号飞船和天宫一号目标飞行器绕地球做匀速圆周运动。

（2）“极其稀薄的大气”说明天宫一号在运动过程中受阻力，要损失能量。

13.［2017 天津理综，9（1）］我国自主研制的首艘货运飞船“天舟一号”发射升空后，与已经在轨运行的“天宫二号”成功对接形成组合体。假设组合体在距地面高为 h 的圆形轨道上绕地球做匀速圆周运动，已知地球的半径为 R，地球表面处重力加速度为 g，且不考虑地球自转的影响。则组合体运动的线速度大小为______，向心加速度大小为______。



答案　$R\sqrt{\frac{g}{R+h}}$　$\frac{R^2}{(R+h)^2}g$

解析　设组合体的质量为 m、运转线速度为 v，地球质量为 M，则

$$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=ma_{向}=m\frac{v^2}{R+h}，又有 G\frac{Mm}{R^2}=mg$$

联立上述两式得 $a_{向}=\frac{R^2}{(R+h)^2}g$，$v=R\sqrt{\frac{g}{R+h}}$。

14.（2014 北京理综，23，18 分）万有引力定律揭示了天体运行规律与地上物体运动规律具有内在的一致性。

(1)用弹簧秤称量一个相对于地球静止的小物体的重量,随称量位置的变化可能会有不同的结果。已知地球质量为 M,自转周期为 T,万有引力常量为 G。将地球视为半径为 R、质量均匀分布的球体,不考虑空气的影响。设在地球北极地面称量时,弹簧秤的读数是 F_0。

a.若在北极上空高出地面 h 处称量,弹簧秤读数为 F_1,求比值 F_1/F_0 的表达式,并就 $h=1.0\%R$ 的情形算出具体数值(计算结果保留两位有效数字);

b.若在赤道地面称量,弹簧秤读数为 F_2,求比值 F_2/F_0 的表达式。

(2)设想地球绕太阳公转的圆周轨道半径 r、太阳的半径 R_S 和地球的半径 R 三者均减小为现在的1.0%,而太阳和地球的密度均匀且不变。仅考虑太阳和地球之间的相互作用,以现实地球的1年为标准,计算“设想地球”的1年将变为多长?

答案 (1)a.$\frac{F_1}{F_0}=\frac{R^2}{(R+h)^2}$ 0.98 b.$\frac{F_2}{F_0}=1-\frac{4\pi^2R^3}{GMT^2}$

(2)“设想地球”的1年与现实地球的1年时间相同

解析 (1)设小物体质量为 m。

a.在北极地面有 $G\frac{Mm}{R^2}=F_0$

在北极上空高出地面 h 处有 $G\frac{Mm}{(R+h)^2}=F_1$

得 $\frac{F_1}{F_0}=\frac{R^2}{(R+h)^2}$

当 $h=1.0\%R$ 时

$\frac{F_1}{F_0}=\frac{1}{(1.01)^2}\approx0.98$

b.在赤道地面,小物体随地球自转做匀速圆周运动,受到万有引力和弹簧秤的作用力,有

$G\frac{Mm}{R^2}-F_2=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$

得 $\frac{F_2}{F_0}=1-\frac{4\pi^2R^3}{GMT^2}$

(2)地球绕太阳做匀速圆周运动,受到太阳的万有引力。设太阳质量为 M_S,地球质量为 M,地球公转周期为 T_E,有

$G\frac{M_SM}{r^2}=Mr\frac{4\pi^2}{T_E^2}$

得 $T_E=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM_S}}=\sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}\left(\frac{r}{R_S}\right)^3}$

其中 ρ 为太阳的密度。

由上式可知,地球公转周期 T_E 仅与太阳的密度、地球公转轨道半径与太阳半径之比有关。因此“设想地球”的1年与现实地球的1年时间相同。

3年模拟 2018-2020

对应学生用书起始页码229

时间:30分钟 分值:40分

一、选择题(每小题6分,共18分)

1.(2018内蒙古集宁一中阶段检测,3)已知地球和火星绕太阳公转的轨道半径分别为 R_1 和 R_2(公转轨道近似为圆),如果把行星与太阳连线扫过的面积与其所用时间的比值定义为扫过的面积速率。则地球和火星绕太阳公转过程中扫过的面积速率之比是 ( )

A.$\frac{R_1}{R_2}$ B.$\frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}}$ C.$\frac{R_2}{R_1}$ D.$\frac{\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1}}$

答案 B 公转的轨道近似为圆,地球和火星的运动可以视为匀速圆周运动。根据开普勒第三定律知地球和火星运动的周期之比 $\frac{T_1}{T_2}=\sqrt{\frac{R_1^3}{R_2^3}}$,在一个周期内扫过的面积之比为 $\frac{S_1}{S_2}=\frac{\pi R_1^2}{\pi R_2^2}=\frac{R_1^2}{R_2^2}$,扫过的面积速率为 $\frac{S}{T}$,扫过的面积速率之比为 $\frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}}$,故B正确,A、C、D错误。

2.(2018安徽皖中名校联盟联考,8)(多选)引力波探测于2017年获得诺贝尔物理学奖。双星的运动是产生引力波的来源之一,假设宇宙中有一双星系统由 P、Q 两颗星体组成,这两颗星绕它们连线的某一点在二者万有引力作用下做匀速圆周运动,测得 P 星的周期为 T,P、Q 两颗星的距离为 l,P、Q 两颗星的轨道半径之差为 Δr(P 星的轨道半径大于 Q 星的轨道半径),引力常量为 G,则 ( )

A.Q、P 两颗星的质量差为 $\frac{4\pi^2l\Delta r}{GT^2}$

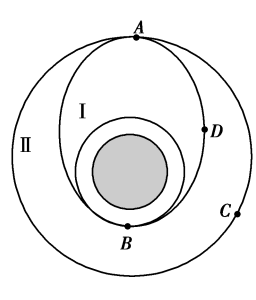
B.P、Q 两颗星的运动半径之比为 $\frac{l}{l\cdot\Delta r}$

C.P、Q 两颗星的线速度大小之差为 $\frac{2\pi\Delta r}{T}$

D.P、Q 两颗星的质量之比为 $\frac{l-\Delta r}{l+\Delta r}$

答案 CD 双星之间的万有引力提供向心力,$\frac{Gm_1m_2}{l^2}=m_1\frac{4\pi^2}{T^2}r_1$,$\frac{Gm_1m_2}{l^2}=m_2\frac{4\pi^2}{T^2}r_2$,两式相减得 $m_2-m_1=\frac{4\pi^2l^2}{GT^2}(r_1-r_2)=\frac{4\pi^2l^2\Delta r}{GT^2}$,两式相加得:$m_2+m_1=\frac{4\pi^2l^2}{GT^2}(r_1+r_2)=\frac{4\pi^2l^3}{GT^2}$,解得:$m_1=\frac{2\pi^2l^2}{GT^2}(l-\Delta r)$,$m_2=\frac{2\pi^2l^2}{GT^2}(l+\Delta r)$,故 P、Q 两颗星的质量之比 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{l-\Delta r}{l+\Delta r}$,运行半径之比为 $\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}=\frac{l+\Delta r}{l-\Delta r}$,选项A、B错误,D正确;由线速度 $v=\omega r$,可知 $v_1-v_2=\omega(r_1-r_2)=\frac{2\pi\Delta r}{T}$,选项C正确。

3.(2020届四川成都段考,3)如图为发射某卫星的示意图。卫星在 A 位置从椭圆轨道Ⅰ进入圆形轨道Ⅱ,B 位置在轨道Ⅰ上,C 位置在轨道Ⅱ上,D 为 $\overset{\frown}{AB}$ 的中点。以下关于卫星的说法正确的是 ( )



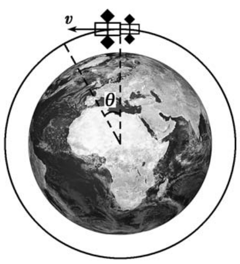
A.此卫星的发射速度一定等于 7.9 km/s
B.卫星从 B 运动到 D 和从 D 运动到 A 的时间相等
C.卫星从 B 到 A 的过程中动能不断减小,从轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ需点火加速
D.在轨道Ⅰ上经过 A 位置处的加速度小于在轨道Ⅱ上经过 C 处的加速度

答案　C　本题考查了卫星变轨问题的速度、加速度、动能和机械能的变化规律,体现了科学思维中的科学推理和科学论证要素。

要发射卫星,卫星的发射速度大于第一宇宙速度 7.9 km/s,选项 A 错误;根据开普勒行星运动定律知,在椭圆轨道Ⅰ上,远地点 A 的速度小于近地点 B 的速度,故卫星从 B 运动到 D 和从 D 运动到 A 的时间不相等,选项 B 错误;远地点 A 的速度小于近地点 B 的速度,卫星从 B 到 A 的过程中动能不断减小,卫星从轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ需点火加速才行,选项 C 正确;卫星在轨道Ⅰ上的 A 位置及轨道Ⅱ上的 C 位置,加速度均为 $a=\frac{GM}{r^2}$,加速度大小相等,选项 D 错误。

二、非选择题(共 22 分)

4.(12 分)(**2018 河北保定联考,15**)2017 年 9 月 12 日 23 时 58 分,中国"天舟一号"货运飞船顺利完成与"天宫二号"太空实验室的自主快速交会对接试验,此次试验将中国太空交会对接的两天的准备时间缩短至 6.5 小时,为中国太空站工程后续研制建设奠定更加坚实的技术基础。如图是"天舟一号"与"天宫二号"对接过程示意图,已知"天舟一号"与"天宫二号"成功对接后,组合体沿圆形轨道运行。经过时间 t,组合体绕地球转过的角度为 θ,地球半径为 R,地球表面重力加速度为 g,引力常量为 G,不考虑地球自转。求:



(1)地球质量 M;
(2)组合体运动的周期 T;
(3)组合体所在圆轨道离地面的高度 H。

答案　(1)$\frac{gR^2}{G}$　(2)$\frac{2\pi t}{\theta}$　(3)$\sqrt[3]{\frac{gR^2t^2}{\theta^2}}-R$

解析　(1)质量为 m 的物体在地球表面所受的万有引力等于重力

$$G\frac{Mm}{R^2}=mg$$

所以 $M=\frac{gR^2}{G}$

(2)设组合体角速度为 ω,依题意有 $\omega=\frac{\theta}{t}$

故周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi t}{\theta}$

(3)设组合体质量为 m_0,根据牛顿第二定律有:$G\frac{Mm_0}{(R+H)^2}=m_0\omega^2(R+H)$

解得 $H=\sqrt[3]{\frac{gR^2t^2}{\theta^2}}-R$

5.(10 分)(**2019 5·3 原创**)火星是太阳系中和地球环境最为相似的行星,100 年后,人类或已能够方便地前往火星度假。地球人小明去火星度假前,在地球上用体重秤测得体重为 F,到达火星后,小明参加了为期一个月的减肥训练营,他惊喜地发现,经过一个月的训练,在火星上测得的体重已变为$\frac{4}{9}F$。已知火星半径是地球半径的$\frac{1}{2}$,火星第一宇宙速度是地球第一宇宙速度的$\frac{\sqrt{2}}{3}$,地球密度为 ρ。(忽略地球和火星自转的影响,火星和地球均可看成质量分布均匀的球体)

(1)小明减肥是否成功?
(2)人类即将前往度假的这颗星球的密度是多少?

答案　(1)见解析　(2)$\frac{8}{9}\rho$

解析　(1)设火星和地球半径分别为 R' 和 R,火星和地球第一宇宙速度分别为 v' 和 v,火星和地球表面重力加速度分别为 g' 和 g

根据已知条件,得:$\frac{R'}{R}=\frac{1}{2}$　①

$\frac{v'}{v}=\frac{\sqrt{2}}{3}$　②

火星上第一宇宙速度满足 $m_0g'=m_0\frac{v'^2}{R'}$　③

地球上第一宇宙速度满足 $m_0g=m_0\frac{v^2}{R}$　④

由①②③④式得:$\frac{g'}{g}=\frac{4}{9}$　⑤

设小明在火星和地球上的质量分别为 m' 和 m,则:

$F=mg$　⑥

$\frac{4}{9}F=m'g'$　⑦

由⑤⑥⑦式得 $m'=m$

因此,小明的质量没变,减肥没有成功。

(2)设火星和地球的质量分别为 M' 和 M,火星密度为 ρ'

火星上满足 $m_0g'=\frac{GM'm_0}{R'^2}$　⑧

地球上满足 $m_0g=\frac{GMm_0}{R^2}$　⑨

由①⑤⑧⑨式得:$\frac{M'}{M}=\frac{1}{9}$　⑩

所以$\frac{\rho'}{\rho}=\frac{M'R^3}{MR'^3}=\frac{8}{9}$

$\rho'=\frac{8}{9}\rho$

专题六　机械能守恒定律

探考情 悟真题

5年考情探究 真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 58

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
功和功率	功、功率	2018 课标Ⅲ,19,6 分	4	v-t 图像	能量观念、模型建构	图像法	★★★
		2017 课标Ⅱ,14,6 分	3	圆周运动	能量观念、模型建构		
		2016 课标Ⅱ,19,6 分	3	牛顿第二定律	运动与相互作用观念、能量观念		
		2016 课标Ⅱ,21,6 分	4		运动与相互作用观念、能量观念		
动能定理、机械能守恒定律及其应用	动能定理及其应用	2019 课标Ⅲ,17,6 分	4	E_k-h 图像	运动与相互作用观念、能量观念	图像法	★★★
		2019 课标Ⅱ,18,6 分	3	E-h 图像	能量观念	图像法	
		2019 课标Ⅱ,25,20 分	4	f-t 图像	运动与相互作用观念、能量观念	图像法	
		2019 天津理综,10,16 分	3	匀变速直线运动	运动与相互作用观念、能量观念		
		2019 江苏单科,8,4 分	3		运动与相互作用观念、能量观念		
		2018 课标Ⅱ,14,6 分	2		能量观念		
		2018 课标Ⅲ,25,20 分	4	动量	科学推理		
		2017 课标Ⅱ,24,12 分	4	匀变速运动规律	科学推理		
		2016 课标Ⅱ,16,6 分	3		模型建构		
		2016 课标Ⅲ,20,6 分	4		科学推理		
		2015 课标Ⅰ,17,6 分	4	牛顿第三定律	科学推理		
	机械能守恒定律及其应用	2018 课标Ⅱ,15,6 分	3	动量定理	能量观念		
		2018 天津理综,2,6 分	3	圆周运动	运动与相互作用观念、能量观念		
		2016 课标Ⅲ,24,12 分	4	圆周运动	科学推理		
		2015 课标Ⅱ,21,6 分	4		能量观念		
功能关系、能量守恒定律	功能关系	2018 课标Ⅰ,18,6 分	4		科学推理		★★★
		2017 课标Ⅰ,24,12 分	4		模型建构		

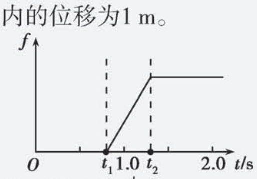
分析解读

本专题是力学的重点内容之一，高考从三个角度进行考查：第一，功和功率；第二，动能定理及其应用；第三，功能关系、机械能守恒定律及其应用。一般是与其他知识（如牛顿运动定律、平抛运动、圆周运动、电磁学等内容）结合起来，考查学生对规律的应用理解、对综合问题的分析能力以及对能量转化与守恒思想的建立情况。

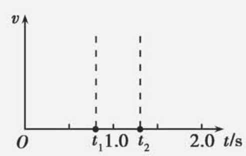
真题探秘

对应学生用书 起始页码 59

（2019课标Ⅱ，25，20分）一质量为m=2 000 kg的汽车以某一速度在平直公路上匀速行驶。行驶过程中，司机突然发现前方100 m处有一警示牌，立即刹车。刹车过程中，汽车所受阻力大小随时间的变化可简化为图(a)中的图线。图(a)中，0~t_1时间段为从司机发现警示牌到采取措施的反应时间（这段时间内汽车所受阻力已忽略，汽车仍保持匀速行驶），t_1=0.8 s；t_1~t_2时间段为刹车系统的启动时间，t_2=1.3 s；从t_2时刻开始汽车的刹车系统稳定工作，直至汽车停止。已知从t_2时刻开始，汽车第1 s内的位移为24 m，第4 s内的位移为1 m。



图(a)



图(b)

（1）在图(b)中定性画出从司机发现警示牌到刹车系统稳定工作后汽车运动的v-t图线；

（2）求t_2时刻汽车的速度大小及此后的加速度大小；

（3）求刹车前汽车匀速行驶时的速度大小及t_1~t_2时间内汽车克服阻力做的功；从司机发现警示牌到汽车停止，汽车行驶的距离约为多少（以t_1~t_2时间段始末速度的算术平均值替代这段时间内汽车的平均速度）？

给定第一个条件，为画图像提供依据

创设运动情景：物体开始做减速运动

给定第二个条件，在t_1~t_2时间内为变力，牛顿运动定律无法解答，提示考生改用其他方法

给定第三个条件：汽车匀速

给定第四个条件，从t_2时刻开始力为恒力，又可以用牛顿第二定律了

结合图像创设物理情景，符合高考要求

变力作用时间内暗示解题方法——动量定理

为非匀变速直线运动提供计算依据——$x=vt$，其中v为平均速度

❶ **核心要点**

匀速运动、匀变速直线运动、动量定理和动能定理。

❷ **情景解读**

从实际情景中抽象出匀速运动、一般的变速运动和匀变速直线运动，体现了物理来源于生活，而又高于生活。

❸ **思路分析**

在汽车开始刹车前为匀速运动；而在刹车系统稳定前汽车受变力作用而做非匀变速直线运动，暗示着利用动量定理和动能定理建立关系；当刹车系统稳定后做匀变速直线运动。

❹ **能力要求**

在实际情景中抽象物理模型的能力；灵活应用运动学规律的能力；将生活中常见的现象与所学物理规律、物理模型有机结合的能力。

❺ **答案**

详细解析见116页5年高考B组第5题

破考点　练考向

考点考向清单　考点题霸集训

考点清单

对应学生用书 起始页码 60

考点一　功和功率

考向基础

一、功

1.功的定义：一个物体受到力的作用，并在力的方向上发生一段位移，就说这个力对物体做了机械功，简称功。

2.做功的两个必要因素：力和物体在力的方向上发生的位移，缺一不可。

3.功的物理意义：功是能量转化的量度。

4.公式：a.当恒力F的方向与位移l的方向一致时，力对物体所做的功为$W=Fl$。

b.当恒力F的方向与位移l的方向成某一角度α时，力F对物体所做的功为$W=Fl\cos\alpha$。即力对物体所做的功，等于力的大小、位移的大小、力与位移的夹角的余弦这三者的乘积。

5.功是标量，但有正负。

二、功率

1.功率是描述做功快慢的物理量，定义为功与完成这些功所用时间的比值。比较功率的大小，就要比较这个比值：比值越

大,功率就越大,做功就越快;比值越小,功率就越小,做功就越慢。功率与做功多少和时间长短无直接联系。

2.功率的计算

a.$P=\frac{W}{t}$,用此公式求出的是平均功率。

b.$P=Fv$,若 v 为平均速度,则 P 为平均功率;若 v 为瞬时速度,则 P 为瞬时功率。

3.发动机铭牌上所标注的功率为这部机械的额定功率。它是人们对机械进行选择、配置的一个重要参数,它反映了机械的做功能力或机械所能承担的"任务"。机械运行过程中的功率是实际功率。机械的实际功率可以小于其额定功率,可以等于其额定功率,但是机械不能长时间超负荷运行,否则会损坏机械设备,缩短其使用寿命。由 $P=Fv$ 可知,在功率一定的条件下,发动机产生的牵引力 F 跟运转速度 v 成反比。

考向突破

考向 功、功率

一、正功、负功的判定

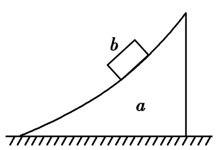
1.根据力和位移的方向的夹角判断,此法常用于判断质点做直线运动时恒力的功。恒力做功的公式 $W=Fx\cos\alpha$,$90°<\alpha\leqslant180°$做负功,$0\leqslant\alpha<90°$做正功,$\alpha=90°$不做功。

2.根据力和瞬时速度方向的夹角判断,此法常用于判断质点做曲线运动时变力的功。设力的方向和瞬时速度方向夹角为 θ,当 $0°\leqslant\theta<90°$时力做正功,当 $90°<\theta\leqslant180°$时力做负功,当 $\theta=90°$时,力做的功为零。

3.从能量的转化角度来进行判断。若有能量转化,则应有力做功。此法常用于判断两个相联系的物体。

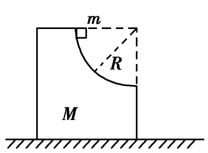
一个系统机械能增加(或减少),一定是除重力或系统内弹力外,其他力对系统做正功(或负功)。

如图所示,弧面体 a 放在光滑水平面上,弧面光滑,使物体 b 自弧面的顶端自由下滑,试判定 a、b 间弹力做功的情况。



从能量转化的角度看,当 b 沿弧面由静止下滑时,a 就由静止开始向右运动,即 a 的动能增大了,因而 b 对 a 的弹力做了正功。由于 a 和 b 组成的系统机械能守恒,a 的机械能增加,b 的机械能一定减少,因而 a 对 b 的弹力对 b 一定做了负功。

例1 如图所示,质量为 M 的滑块,置于光滑水平地面上,其上有一半径为 R 的光滑$\frac{1}{4}$圆槽,现将一质量为 m 的物体从圆弧的最高点滑下,在下滑过程中,滑块对物体的弹力做功 W_1,物体对滑块的弹力做功 W_2,则 ( )



A.$W_1=0,W_2=0$　　B.$W_1<0,W_2>0$

C.$W_1=0,W_2>0$　　D.$W_1>0,W_2<0$

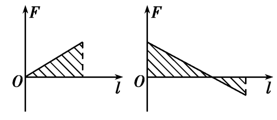
解析 由地面与曲面光滑,可知物体与滑块组成的系统机械能守恒。物体下滑,滑块向左运动,则滑块动能增加,可知物体对滑块的弹力做正功,$W_2>0$。滑块机械能增加,物体机械能一定减小,$W_1<0$。

答案 B

二、求变力做功的方法

1.根据 $W=Pt$ 计算一段时间内做的功,此公式适用于功率恒定的情况。

2.根据力(F)-位移(l)图像的物理意义计算力对物体所做的功,如图中阴影部分的面积在数值上等于力所做功的大小。



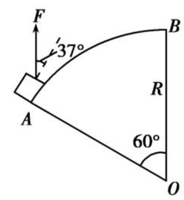
横轴上方的面积表示做正功
横轴下方的面积表示做负功

3.利用动能定理求功

$$W_合=W_1+W_2+W_3+\cdots+W_n=\Delta E_k=E_{kt}-E_{k0}=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$

4.常用方法还有转换法、微元法、图像法、平均力法等,求解时根据条件灵活选择。

例2 如图所示,一质量为 $m=2.0$ kg 的物体从半径为 $R=5.0$ m的圆弧面的 A 端,在拉力作用下沿圆弧面缓慢运动到 B 端(圆弧面 AB 在竖直平面内)。拉力 F 大小不变始终为 15 N,方向始终与物体所在位置的切线成 37°角。圆弧面所对应的圆心角为 60°,BO 边竖直,g 取 10 m/s²。求这一过程中($\cos37°=0.8$):



(1)拉力 F 做的功。

(2)重力 mg 做的功。

(3)圆弧面对物体的支持力 F_N 做的功。

(4)圆弧面对物体的摩擦力 F_f 做的功。

解题导引

(1)拉力 F 大小不变,但方向不断改变→变力功→用微元法。

(2)重力做功与路径无关,与始末位置高度差有关。

(3)支持力与速度方向垂直不做功。

(4)摩擦力为变力,可用动能定理求其做功。

解析 (1)将圆弧面分成很多小段 l_1、l_2、…、l_n,拉力在每小段上做的功为 W_1、W_2、…、W_n,因拉力 F 大小不变,方向始终与物体所在位置的切线成 37°角,所以:$W_1=Fl_1\cos37°$,$W_2=Fl_2\cos37°$,…,$W_n=Fl_n\cos37°$,所以拉力 F 做的功为:

$W_F=W_1+W_2+\cdots+W_n=F\cos37°(l_1+l_2+\cdots+l_n)=F\cos37°\cdot\frac{\pi}{3}R=20\pi\ \text{J}=62.8$ J。

(2)重力 mg 做的功 $W_G=-mgR(1-\cos60°)=-50$ J。

(3)物体受到的支持力 F_N 始终与物体的运动方向垂直,所以 $W_{F_N}=0$。

(4)因物体在拉力 F 作用下缓慢移动,则物体处于动态平衡状态,合外力做功为零,所以 $W_F+W_G+W_{F_f}=0$,则 $W_{F_f}=-W_F-W_G=-62.8\ \text{J}+50\ \text{J}=-12.8$ J。

答案 (1)62.8 J (2)−50 J (3)0 (4)−12.8 J

考点二 动能定理、机械能守恒定律及其应用

考向基础

一、动能

1.动能的定义:物体由于运动所具有的能。

2.动能的计算公式为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$。

3.动能是标量,是描述物体运动状态的物理量,其单位与功的单位相同。在国际单位制中其单位是焦耳(J)。

二、动能定理

1.动能定理的内容

合外力对物体所做的功等于物体动能的变化,这个结论叫

做动能定理。

2.动能定理的表达式

$W=E_{k2}-E_{k1}$，式中 W 为合外力对物体所做的功，E_{k2}为物体末状态的动能，E_{k1}为物体初状态的动能。动能定理的表达式为标量式，v 为相对同一参考系的速度，中学物理中一般取地面为参考系。

三、重力做功的特点

由于重力的方向始终竖直向下，因而在物体运动过程中，重力的功只取决于初、末位置的高度差，与物体的运动路径无关。

四、势能

1.重力势能

(1)由物体所处位置的高度决定的能量，称为重力势能。一个质量为 m 的物体，被举高到高度为 h 处，具有的重力势能为：$E_p=mgh$。

(2)重力势能是地球和物体组成的系统共有的，而不是物体单独具有的。

(3)重力势能 $E_p=mgh$ 是相对的，式中的 h 是物体的重心到参考平面(零势能面)的高度，若物体在参考平面以上，则重力势能为正值；若物体在参考平面以下，则重力势能为负值，通常选择地面作为参考平面。

(4)重力势能的变化与重力做功的关系

重力对物体做多少正功，物体的重力势能就减少多少；重力对物体做多少负功，物体的重力势能就增加多少，即$W_G=-\Delta E_p$。

2.弹性势能：物体因发生弹性形变而具有的能叫做弹性势能。弹簧的弹性势能的大小与形变量及劲度系数有关，弹簧的形变量越大、劲度系数越大，弹簧的弹性势能越大。

五、机械能守恒定律

1.内容

在只有重力或弹力做功的物体系统内，动能与势能可以互相转化，而总的机械能保持不变。

2.表达式

观点	表达式	含义	使用说明
守恒观点	$E_1=E_2$ 或 $E_{p1}+E_{k1}=E_{p2}+E_{k2}$	表示系统在初状态的机械能等于末状态的机械能	单个物体或系统，初、末态高度已知。需要选取参考平面(零势能面)
转化观点	$\Delta E_k+\Delta E_p=0$	表示系统动能的减少(或增加)等于势能的增加(或减少)	初、末态高度未知，但高度变化已知。不需要选取参考平面(零势能面)
转移观点	$\Delta E_A+\Delta E_B=0$	表示系统一部分 A 机械能的减少(或增加)等于另一部分 B 机械能的增加(或减少)	不需要选取参考平面(零势能面)

考向突破

考向一　动能定理及其应用

一、动能定理适用对象

动能定理的研究对象一般是单一物体，或者可以看成单一物体的物体系。动能定理既适用于物体的直线运动，也适用于曲线运动；既适用于恒力做功，也适用于变力做功。力可以是各种性质的力，既可以同时作用，也可以分段作用。只要求出在作用过程中各力做功的多少和正负即可。

二、应用动能定理解题时的注意事项

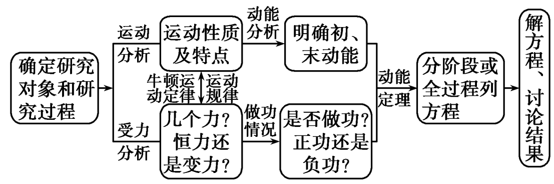
1.$W_总$ 是所有外力对物体所做功的代数和，即 $W_总=W_1+W_2+\cdots$，或先将物体的外力进行合成，求出合外力 $F_合$ 后，再利用 $W_总=F_合 x\cos\alpha$ 进行计算。

2.因为动能定理中功和能均与参考系的选取有关，所以动能定理也与参考系的选取有关。中学物理中一般取地面为参考系。

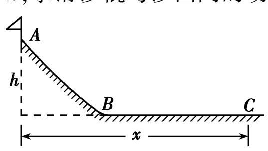
3.做功的过程是能量转化的过程，动能定理表达式中的"="的意义是一种因果关系在数值上相等的符号，意味着"功引起物体动能的变化"。

4.动能定理表达式两边的每一项都是标量，因此动能定理的表达式是一个标量式。

三、应用动能定理解题的基本步骤



例 1　某滑沙场示意图如图所示，某旅游者乘滑沙橇从 A 点由静止开始滑下，最后停在水平沙面上的 C 点，设滑沙橇和沙面间的动摩擦因数处处相同，斜面和水平面连接处可认为是圆滑的，旅游者保持一定姿势坐在滑沙橇上不动，若测得 AC 间水平距离为 x，A 点高为 h，求滑沙橇与沙面间的动摩擦因数 μ。



解题导引

分析旅游者和滑沙橇的受力情况 → 求各力所做的功 → 列动能定理表达式求解

解析　设斜面的倾角为 θ，旅游者和滑沙橇总质量为 m，则旅游者和滑沙橇从 A 点到 B 点，

重力做功 $W_G=mgh$

摩擦力做功 $W_f=-\mu mg\cos\theta\cdot\dfrac{h}{\sin\theta}$

在水平面上运动时，只有滑动摩擦力做功

$W_f'=-\mu mg\left(x-\dfrac{h}{\tan\theta}\right)$。

解法一　"隔离"过程，分段研究，设在 B 点旅游者和滑沙橇的速度为 v，由 A 点到 B 点根据动能定理得：

$W_G+W_f=\dfrac{1}{2}mv^2-0$

在水平面上运动时，同理有：

$W_f'=0-\dfrac{1}{2}mv^2$

解得 $\mu=\dfrac{h}{x}$。

解法二　从 A 到 C 全过程由动能定理得：

$W_G+W_f+W_f'=0$

解得 $\mu=\dfrac{h}{x}$。

答案　$\dfrac{h}{x}$

考向二　机械能守恒定律及其应用

应用机械能守恒定律的解题思路

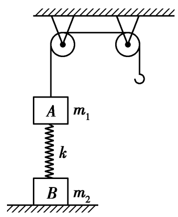
1.明确研究对象,即哪些物体参与了动能和势能的相互转化,选择合适的初态和末态。

2.分析物体的受力并分析各个力做功情况,看是否符合机械能守恒条件,只有符合条件才能应用机械能守恒定律。

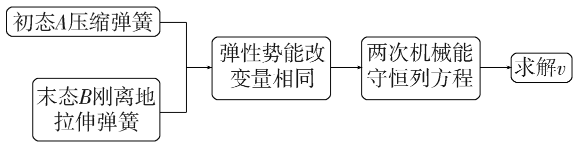
3.正确选择守恒定律的表达式列方程,可对分过程列式,也可对全过程列式。

4.求解结果并说明物理意义。

例2　如图所示,质量为 m_1 的物体 A 经一轻质弹簧与下方地面上的质量为 m_2 的物体 B 相连,弹簧的劲度系数为 k,A、B 都处于静止状态。一条不可伸长的轻绳绕过滑轮,一端连物体 A,另一端连一轻挂钩。开始时各段绳都处于伸直状态,A 上方的一段绳沿竖直方向。现在挂钩上挂一质量为 m_3 的物体 C 并由静止释放,已知它恰好能使物体 B 离开地面但不继续上升。若将 C 换成另一个质量为 (m_1+m_3) 的物体 D,仍从上述初始位置由静止释放,则这次 B 刚离开地面时 D 的速度大小是多少?已知重力加速度为 g。



解题导引



解析　开始时,A、B 静止,设弹簧压缩量为 x_1,有 $kx_1=m_1g$。挂 C 并释放后,C 向下运动,A 向上运动,设 B 刚要离开地面时弹簧伸长量为 x_2,有 $kx_2=m_2g$。

B 不再上升,表示此时 A 和 C 的速度为零,C 已降到最低点。由机械能守恒,与初始状态相比,弹簧弹性势能的增加量 $\Delta E=m_3g(x_1+x_2)-m_1g(x_1+x_2)$。

C 换成 D 后,当 B 刚离开地面时弹簧弹性势能的增加量与前一次相同,由能量关系得 $\frac{1}{2}(m_3+m_1)v^2+\frac{1}{2}m_1v^2=(m_3+m_1)g(x_1+x_2)-m_1g(x_1+x_2)-\Delta E$,即 $\frac{1}{2}(2m_1+m_3)v^2=m_1g(x_1+x_2)$,解得 $v=\sqrt{\frac{2m_1(m_1+m_2)g^2}{(2m_1+m_3)k}}$。

答案　$\sqrt{\frac{2m_1(m_1+m_2)g^2}{(2m_1+m_3)k}}$

考点三　功能关系、能量守恒定律

考向基础

一、功能关系

1.功是能量转化的量度,做了多少功,就有多少能量发生了转化。

2.$W_F=\Delta E$,该式的物理含义是除重力以外的力对物体所做的功等于物体机械能的变化,即功能原理。要注意的是物体的内能(所有分子热运动的动能和分子势能的总和)、电势能不属于机械能。

二、能量守恒定律

能量不会凭空产生,也不会凭空消失,它只能从一种形式转化为另一种形式,或者从一个物体转移到另一个物体,在转化或转移的过程中其总量保持不变,这就是能量守恒定律。

考向突破

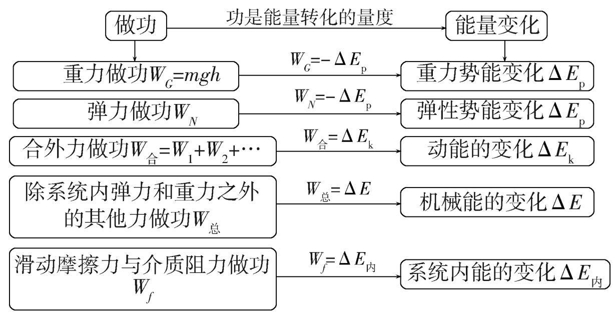
考向　功能关系

一、对功能关系的理解

1.做功的过程就是能量转化的过程。不同形式的能量发生相互转化可以通过做功来实现。

2.功是能量转化的量度,功和能的关系,一是体现在不同性质的力做功,对应不同形式的能转化,具有一一对应关系,二是做功的多少与能量转化的多少在数值上相等。

二、功是能量转化的量度,力学中几种常见的功能关系如下



例　(2016四川理综,1,6分)韩晓鹏是我国首位在冬奥会雪上项目夺冠的运动员。他在一次自由式滑雪空中技巧比赛中沿"助滑区"保持同一姿态下滑了一段距离,重力对他做功1 900 J,他克服阻力做功100 J。韩晓鹏在此过程中　(　　)

A.动能增加了1 900 J　　B.动能增加了2 000 J

C.重力势能减小了1 900 J　　D.重力势能减小了2 000 J

解析　由动能定理可知,ΔE_k=1 900 J-100 J=1 800 J,故A、B均错。重力势能的减少量等于重力做的功,故C正确、D错。

答案　C

三、两种摩擦力做功特点比较

静摩擦力做功和滑动摩擦力做功的特点有相似之处,也有不同之处,现从三个方面进行比较总结:

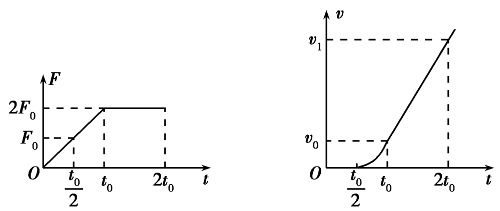
比较 \ 类别		静摩擦力	滑动摩擦力
不同点	能量的转化方面	在静摩擦力做功的过程中,只有机械能从一个物体转移到另一个物体(静摩擦力起着传递机械能的作用)而没有机械能转化为其他形式的能量	(1)相互摩擦的物体通过摩擦力做功,将部分机械能从一个物体转移到另一个物体 (2)部分机械能转化为内能,此部分能量就是系统机械能损失量
不同点	一对摩擦力的总功方面	一对静摩擦力所做功的代数总和等于零	一对相互作用的滑动摩擦力对物体系统所做的总功,等于摩擦力与相对路程的乘积,即 $W_f=-f\cdot s_{相对}$,表示物体克服摩擦力做功,系统损失的机械能转变成内能
相同点	正功、负功、不做功方面	两种摩擦力对物体可以做正功、负功,还可以不做功	

考点集训

对应学生用书起始页码 64

考点一　功和功率

1.(2020 届甘肃兰州一中期中,17)(多选)质量为 m 的物体静止在粗糙的水平地面上,从 $t=0$ 时刻开始受到方向恒定的水平拉力 F 作用,F 与时间 t 的关系如图甲所示。物体在 $\frac{t_0}{2}$ 时刻开始运动,其 v-t 图像如图乙所示,若可认为滑动摩擦力等于最大静摩擦力,则　　(　　)



甲　　　乙

A.物体在 t_0 时刻的加速度大小为 $\frac{F_0}{m}$

B.物体与地面间的动摩擦因数为 $\frac{2F_0}{mg}$

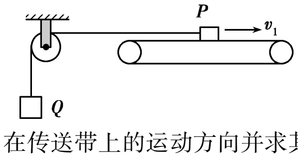
C.物体所受合外力在 t_0 时刻的功率为 $2F_0v_0$

D.水平力 F 在 t_0 到 $2t_0$ 这段时间内的平均功率为 $F_0\left(2v_0+\frac{F_0t_0}{m}\right)$

答案　AD　本题结合 $F-t$ 和 $v-t$ 图像考查了牛顿运动定律、平均速度以及功率的计算,体现了物理观念中的运动与相互作用要素。

物体在 $\frac{t_0}{2}$ 时刻开始运动,则摩擦力等于拉力,故有 $f=F_0$,物体与地面的动摩擦因数 $\mu=\frac{F_0}{mg}$,选项 B 错误;在 t_0 时刻由牛顿第二定律得,$a=\frac{2F_0-f}{m}=\frac{F_0}{m}$,选项 A 正确;在 t_0 时刻物体受到的合外力为 F_0,物体所受合外力在 t_0 时刻的功率为 $P=F_0v_0$,选项 C 错误;在 t_0 到 $2t_0$ 时间内物体做匀加速运动,故在 $2t_0$ 时刻的速度 $v_1=v_0+at=v_0+\frac{F_0}{m}t_0$,这段时间内的平均速度 $\bar{v}=\frac{v_0+v_1}{2}=\frac{2v_0+\frac{F_0}{m}t_0}{2}$,则其平均功率 $P=2F_0\bar{v}=F_0\left(2v_0+\frac{F_0t_0}{m}\right)$,选项 D 正确。

2.(2020 届内蒙古集宁一中摸底,14)如图所示,水平传送带在电动机带动下以速度 $v_1=2$ m/s 匀速运动,小物体 P、Q 质量分别为 0.2 kg 和 0.3 kg,由通过定滑轮且不可伸长的轻绳相连,$t=0$时刻 P 放在传送带中点处由静止释放。已知 P 与传送带间的动摩擦因数为 0.5,传送带水平部分两端点间的距离为 4 m,不计定滑轮质量及摩擦,P 与定滑轮间的绳水平,g 取 10 m/s^2。



(1)判断 P 在传送带上的运动方向并求其加速度大小;

(2)求 P 从开始到离开传送带水平端点的过程中,与传送带间因摩擦产生的热量;

(3)求 P 从开始到离开传送带水平端点的过程中,电动机多消耗的电能。

答案　(1)向左　4 m/s^2　(2)4 J　(3)2 J

解析　本题考查了牛顿运动定律、功与能量关系在传送带模型中的应用,体现了科学思维中科学论证要素。

(1)传送带给 P 的摩擦力 $F_f=\mu m_1g=1$ N 小于 Q 的重力 $m_2g=3$ N,P 将向左运动。

根据牛顿第二定律,对 P:$F_T-\mu m_1g=m_1a$

对 Q:$m_2g-F_T=m_2a$

解得 $a=\frac{m_2g-\mu m_1g}{m_1+m_2}=4$ m/s^2。

(2)从开始到末端:$v^2=2a\frac{L}{2}$,$t=\frac{L}{2\bar{v}}$,$\bar{v}=\frac{0+v}{2}$

传送带的位移 $x=v_1t$,$Q=\mu m_1g\left(\frac{L}{2}+x\right)=4$ J。

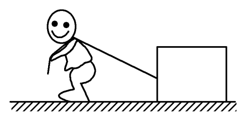
(3)电动机多消耗的电能为克服摩擦力所做的功

解法一　$\Delta E_{电}=W_{克}=\mu m_1gx$,$\Delta E_{电}=2$ J。

解法二　$\Delta E_{电}+m_2g\frac{L}{2}=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2+Q$,$\Delta E_{电}=2$ J。

考点二　动能定理、机械能守恒定律及其应用

1.(2018 课标Ⅱ,14,6 分)如图,某同学用绳子拉动木箱,使它从静止开始沿粗糙水平路面运动至具有某一速度。木箱获得的动能一定　　(　　)



A.小于拉力所做的功　　B.等于拉力所做的功

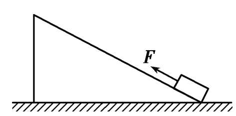
C.等于克服摩擦力所做的功　　D.大于克服摩擦力所做的功

答案　A　本题考查动能定理。由动能定理可知 $W_{拉}-W_f=E_k-0$,因此,$E_k<W_{拉}$,故 A 正确,B 错误;E_k 可能大于、等于或小于 W_f,选项 C、D 错误。

思路分析　外力做功与动能变化的关系

动能的改变是物体所受合外力做功引起的。

2.(2020 届东北三校联考,6)如图所示,一个质量为 $m=60$ kg的物体在沿固定斜面向上的恒定外力 F 作用下,由静止开始从斜面的底端沿光滑斜面向上做匀加速直线运动,经过一段时间后外力 F 做的功为 120 J,此后撤去外力 F,物体又经过一段时间后回到出发点。若以地面为零势能面,则下列说法正确的是　　(　　)



A.在这个过程中,物体的最大动能小于 120 J

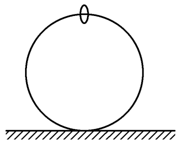
B.在这个过程中,物体的最大重力势能大于 120 J

C.在撤去外力 F 之后的过程中,物体的机械能等于 120 J

D.在刚撤去外力 F 时,物体的速率为 2 m/s

答案　C　由题意可知,恒力 F 对物体做功 120 J,则物体的机械能等于 120 J。撤去 F 后,只有重力对物体做功,机械能守恒,所以物体回到出发点时的动能为 120 J,选项 A 错误,C 正确;物体运动到最高点的过程中,由动能定理可得 $W_F+W_G=0$,即重力做功为 $W_G=-W_F=-120$ J,重力做负功,物体的最大重力势能等于 120 J,选项 B 错误;由于物体向上运动的过程中重力对物体做负功,所以在刚撤去外力 F 时,物体的动能小于 120 J,物体的速度 $v=\sqrt{\frac{2E_k}{m}}<\sqrt{\frac{2\times120}{60}}$ m/s$=2$ m/s,选项 D 错误。

3.(2020届陕西西安中学期中,2)如图,一光滑大圆环固定在桌面上,环面位于竖直平面内,在大圆环上套着一个小环。小环由大圆环的最高点从静止开始下滑,在小环下滑的过程中,当小环距桌面多高时大圆环对它的作用力为零 ( )



A.$\frac{5}{3}R$ B.$\frac{6}{5}R$ C.R D.$\frac{7}{5}R$

答案 A 本题考查了圆周运动、动能定理,体现了物理观念中的运动与相互作用观念、能量观念。

设小环与大环圆心连线与竖直方向夹角为θ时,大圆环对它作用力为0,此时小环速度为v,

小环:$mg\cos\theta=\frac{mv^2}{R}$

从开始到该位置,由动能定理得

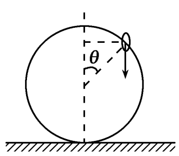
$mg(R-R\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$

联立解得:$\cos\theta=\frac{2}{3}$

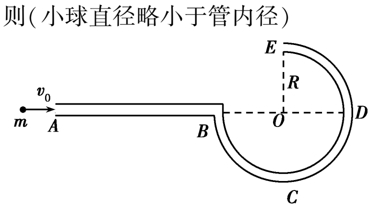
此时小环距桌面高度

$h=R+R\cos\theta=\frac{5}{3}R$

选项A正确。



4.(2018甘肃兰州摸底,8)如图所示,光滑轨道由AB、$BCDE$两段细圆管平滑连接组成,其中AB段水平,$BCDE$段为半径为R的四分之三圆弧,圆心O及D点与AB等高,整个轨道固定在竖直平面内,现有一质量为m,初速度$v_0=\frac{\sqrt{10gR}}{2}$的光滑小球水平进入圆管$AB$,设小球经过管道交接处无能量损失,圆管内径远小于$R$,则(小球直径略小于管内径) ( )



A.小球到达C点时的速度大小$v_C=\frac{3\sqrt{gR}}{2}$

B.小球能通过E点且抛出后恰好落至B点

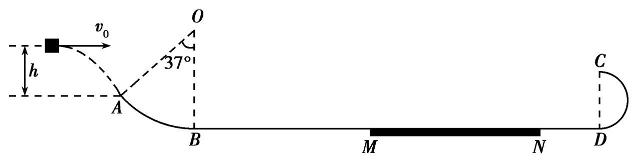
C.无论小球的初速度v_0为多少,小球到达E点时的速度都不能为零

D.若将DE段轨道拆除,则小球能上升的最大高度与D点相距$2R$

答案 B 对小球从A点至C点过程,由机械能守恒有$\frac{1}{2}mv_0^2+mgR=\frac{1}{2}mv_C^2$,解得$v_C=\frac{3\sqrt{2gR}}{2}$,选项A错误;对小球从$A$点至$E$点的过程,由机械能守恒有$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_E^2+mgR$,解得$v_E=\frac{\sqrt{2gR}}{2}$,小球从$E$点抛出后,由平抛运动规律有$x=v_Et$,$R=\frac{1}{2}gt^2$,解得$x=R$,则小球恰好落至$B$点,选项B正确;因为内管壁可提供支持力,所以小球到达E点时的速度可以为零,选项C错误;若将DE段轨道拆除,设小球能上升的最大高度为h,则有$\frac{1}{2}mv_D^2=mgh$,又由机械能守恒可知$v_D=v_0$,解得$h=\frac{5}{4}R$,选项D错误。

5.(2018江西上饶六校一联)如图所示,质量$m=3$ kg的小物块以初速度$v_0=4$ m/s水平向右抛出,恰好从A点沿着圆弧的切线方向进入圆弧轨道,圆弧轨道的半径为$R=3.75$ m,B点是圆弧轨道的最低点,圆弧轨道与水平轨道BD平滑连接,A与圆心O的连线与竖直方向成37°角。MN是一段粗糙的水平轨道,小物块与MN间的动摩擦因数$\mu=0.1$,轨道其他部分光滑。最右侧是一个半径为$r=0.4$ m的半圆轨道,C点是圆弧轨道的最高点,半圆轨道与水平轨道BD在D点平滑连接。

已知重力加速度$g=10$ m/s^2,$\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$。



(1)求小物块的抛出点离A点的高度h;

(2)若MN的长度为$L=6$ m,求小物块通过C点时所受轨道的弹力大小F_N;

(3)若小物块恰好能通过C点,求MN的长度L'。

答案 (1)0.45 m (2)60 N (3)10 m

解析 (1)根据平抛运动规律有:

$\tan 37°=\frac{gt}{v_0}$

得$t=0.3$ s

解得$h=\frac{1}{2}gt^2=0.45$ m

(2)小物块由抛出点运动到B点的过程中,根据动能定理有:

$mg[h+R(1-\cos 37°)]=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得$v_B=2\sqrt{10}$ m/s

小物块由B点运动到C点的过程中,根据动能定理有:

$-\mu mgL-2mgr=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

在C点:$F_N+mg=\frac{mv_C^2}{r}$

解得$F_N=60$ N

(3)小物块刚好能通过C点时,有$mg=\frac{mv_C'^2}{r}$

解得$v_C'=2$ m/s

小物块从B点运动到C点的过程中,根据动能定理有:

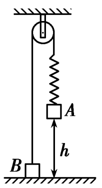
$-\mu mgL'-2mgr=\frac{1}{2}mv_C'^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

解得$L'=10$ m

考点三 功能关系、能量守恒定律

1.如图所示,质量为m的物体A和质量为$2m$的物体B通过不可伸长的轻绳及轻质弹簧连接在轻滑轮两侧。开始用手托着物体A使弹簧处于原长且细绳伸直,此时物体A与地面的距离为h,物体B静止在地面上。现由静止释放A,A与地面即将接触

时速度恰好为 0,此时物体 B 对地面恰好无压力,重力加速度为 g,下列说法正确的是　　(　　)



A.物体 A 下落过程中一直处于失重状态

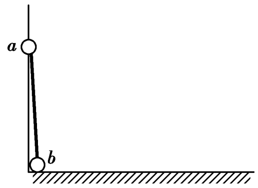
B.物体 A 即将落地时,物体 B 处于失重状态

C.物体 A 下落过程中,弹簧的弹性势能最大值为 mgh

D.物体 A 下落过程中,A 的动能和弹簧的弹性势能之和先增大后减小

答案　**C**　对物体 A 下落过程中受力分析可知,其先加速后减速,则其先处于失重状态后处于超重状态,A 项错误。物体 A 即将接触地面时,B 所受合外力为零,$T-2mg=0$,则 B 的加速度 $a_B=0$,B 项错误。依据能量守恒定律:$-mgh+\Delta E_{弹}=0$,$\Delta E_{弹}=mgh$,C 项正确。在物体 A 下落过程中,物体 A 与弹簧组成的系统机械能守恒,物体 A 的重力势能、动能与弹簧的弹性势能之和不变,因 A 的重力势能一直减小,则 A 的动能和弹簧的弹性势能之和一直增大,D 项错误。

2.(多选)如图所示,两个可视为质点的小球 a、b 的质量均为 m,a、b 通过铰链用刚性轻杆连接,轻杆长度为 L。a 套在另一根固定的光滑竖直杆上,b 放在光滑水平地面上,开始时 a、b 之间的轻杆可以认为是竖直静止的,在轻轻扰动下,a 向下运动,b 向右运动。不计一切摩擦,重力加速度大小为 g。则(　　)



A.a 落地前,轻杆对 b 一直做正功

B.a 落地时速度大小为 $\sqrt{2gL}$

C.a 下落过程中的某个时刻,其加速度大小可能等于 g

D.a 落地前,当 a 的机械能最小时,杆对 b 所做的功为 $\frac{4mgL}{27}$

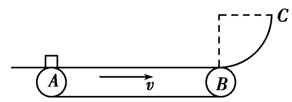
答案　**BCD**　当 a 到达底端时,b 的速度为零,b 的速度在整个过程中,先增大后减小,动能先增大后减小,所以轻杆对 b 先做正功,后做负功,故 A 错误;a 运动到最低点时,b 的速度为零,根据系统机械能守恒得:$m_AgL=\frac{1}{2}m_Av_A^2$,解得 $v_A=\sqrt{2gL}$,故 B 正确;b 的速度在整个过程中,先增大后减小,所以杆对 b 的作用力先是动力后是阻力,则杆对 a 的作用力先是阻力后是动力,在 a 只受到重力的作用时,加速度大小等于重力加速度 g,故 C 正确;a、b 整体的机械能守恒,当 a 的机械能最小时,b 的速度最大,此时 b 受到杆的推力为零,a 只受到重力的作用,设此时杆与水平面的夹角为 θ,由系统机械能守恒得:$mgL(1-\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_a^2+\frac{1}{2}mv_b^2$,又 $v_b\cos\theta=v_a\sin\theta$,两式联立得 $E_{kb}=\frac{1}{2}mv_b^2=mgL(1-\sin\theta)\sin^2\theta$,$(1-\sin\theta)\sin^2\theta=4(1-\sin\theta)\frac{\sin\theta}{2}\cdot\frac{\sin\theta}{2}$,当 $1-\sin\theta=\frac{\sin\theta}{2}$,即 $\sin\theta=\frac{2}{3}$时,上式有最大值,为$\frac{4}{27}$,故 E_{kb}的最大值为$\frac{4mgL}{27}$,故 D 正确。

3.(2018 河南九校联考,14)如图所示,传送带 AB 总长为 $l=10$ m,与一个半径为 $R=0.4$ m 的光滑四分之一圆弧轨道 BC 相切于 B 点,传送带速度恒为 $v=6$ m/s,方向向右,现有一个滑块以一定初速度从 A 点水平滑上传送带,滑块质量为 $m=10$ kg,滑块与传送带间的动摩擦因数为 $\mu=0.1$,已知滑块运动到 B 端时,刚好与传送带同速,求:

(1)滑块的初速度;

(2)滑块能上升的最大高度;

(3)滑块第二次在传送带上滑行时,滑块和传送带系统产生的内能。



答案　(1)$2\sqrt{14}$ m/s 或 4 m/s　(2)1.8 m　(3)220 J

解析　(1)以滑块为研究对象,滑块在传送带上运动过程中,当滑块初速度大于传送带速度时,有 $-\mu mgl=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $v_0=2\sqrt{14}$ m/s;当滑块初速度小于传送带速度时,有 $\mu mgl=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $v_0=4$ m/s。

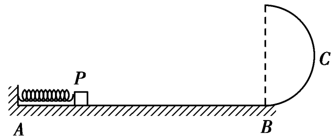
(2)由动能定理可得 $-mgh=0-\frac{1}{2}mv^2$,解得 $h=1.8$ m。

(3)以滑块为研究对象,由牛顿第二定律得 $\mu mg=ma$,滑块的加速度 $a=1$ m/s^2,滑块减速到零的位移 $s=\frac{v^2}{2a}=18$ m>10 m,则滑块第二次在传送带上滑行时,速度没有减小到零就离开传送带,由匀变速直线运动的位移公式可得 $l=vt-\frac{1}{2}at^2$,解得 $t=2$ s($t=10$ s 舍去),在此时间内传送带的位移 $x=vt=6\times2$ m$=12$ m,滑块第二次在传送带上滑行时,滑块和传送带系统产生的内能 $Q=\mu mg(l+x)=0.1\times10\times10\times(10+12)$ J$=220$ J。

4.(2020 届四川成都联考,14)轻质弹簧原长为 $2l$,将弹簧竖直放置在地面上,在其顶端将一质量为 $5m$ 的物体由静止释放,当弹簧被压缩到最短时,弹簧长度为 l。现将该弹簧水平放置,一端固定在 A 点,另一端与物块 P 接触但不连接。AB 是长度为 $5l$ 的水平轨道,B 端与半径为 l 的光滑半圆轨道 BCD 相切,半圆的直径 BD 竖直,如图所示。物块 P 与 AB 间的动摩擦因数 $\mu=0.5$。用外力推动物块 P,将弹簧压缩至长度 l,然后放开,P 开始沿轨道运动。重力加速度大小为 g。

(1)若 P 的质量为 m,求 P 到达 B 点时速度的大小,以及它离开半圆轨道后落回到 AB 上的位置与 B 点之间的距离;

(2)若 P 能滑上半圆轨道,且仍能沿半圆轨道滑下,求 P 的质量的取值范围。



答案　(1)$\sqrt{6gl}$　$2\sqrt{2}l$　(2)$\frac{5}{3}m\leq M<\frac{5}{2}m$

解析　(1)依题意,当弹簧竖直放置,长度被压缩至 l 时,质量为 $5m$ 的物体的动能为零,其重力势能转化为弹簧的弹性势能。由机械能守恒定律,弹簧长度为 l 时的弹性势能为

$E_p=5mgl$　①

设 P 的质量为 M,到达 B 点时的速度大小为 v_B,由能量守

恒定律得

$$E_p=\frac{1}{2}Mv_B^2+\mu Mg\cdot 4l \quad ②$$

联立①②式,取 $M=m$ 并代入题给数据得

$$v_B=\sqrt{6gl} \quad ③$$

若 P 能沿半圆轨道运动到 D 点,其到达 D 点时的向心力不能小于重力,即 P 此时的速度大小 v 应满足

$$\frac{mv^2}{l}-mg\geqslant 0 \quad ④$$

设 P 滑到 D 点时的速度为 v_D,由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_D^2+mg\cdot 2l \quad ⑤$$

联立③⑤式得

$$v_D=\sqrt{2gl} \quad ⑥$$

v_D 满足④式要求,故 P 能运动到 D 点,并从 D 点以速度 v_D 水平射出。设 P 落回到轨道 AB 所需的时间为 t,由运动学公式得

$$2l=\frac{1}{2}gt^2 \quad ⑦$$

P 落回到 AB 上的位置与 B 点之间的距离为

$$s=v_Dt \quad ⑧$$

联立⑥⑦⑧式得

$$s=2\sqrt{2}l \quad ⑨$$

(2)为使 P 能滑上半圆轨道,它到达 B 点时的速度应大于零。由①②式可知

$$5mgl>\mu Mg\cdot 4l \quad ⑩$$

要使 P 仍能沿半圆轨道滑回,P 在半圆轨道的上升高度不能超过半圆轨道的中点 C。由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}Mv_B^2\leqslant Mgl \quad ⑪$$

联立①②⑩⑪式得

$$\frac{5}{3}m\leqslant M<\frac{5}{2}m \quad ⑫$$

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

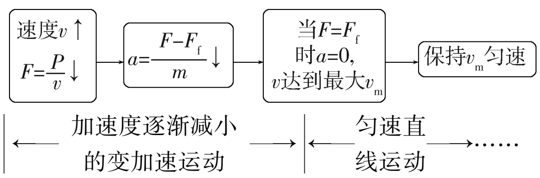
方法技巧

对应学生用书起始页码66

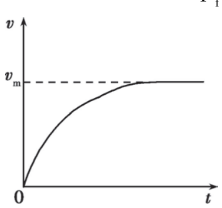
方法1 机车启动问题的处理方法

1.机车启动有两种方式

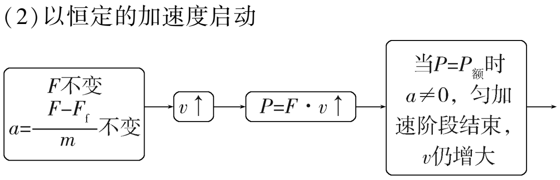
(1)以恒定的功率启动

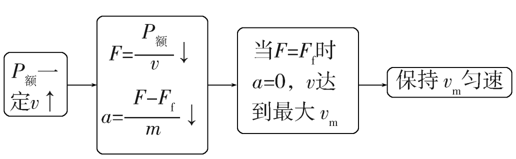


所以机车达到最大速度时 $a=0$,$F=F_f$,$P=Fv_m=F_fv_m$,这一启动过程的 v-t 关系如图所示,其中 $v_m=\frac{P}{F_f}$。

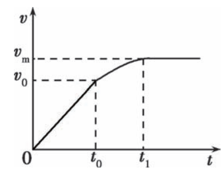


(2)以恒定的加速度启动





这一运动过程的 $v-t$ 关系如图所示,其中 $v_0=\frac{P_{额}}{F}$,$F=F_f+ma$,$v_m=\frac{P_{额}}{F_f}$。



两种启动过程中,物理量变化的判断主要依靠公式 $P=Fv$ 和 $a=\frac{F-F_f}{m}$,另外 $P=P_{额}$、$a=0$ 为两种启动方式的最终状态。

2.以恒定加速度启动时的分段处理

(1)上图中 $0\sim t_0$ 段 P 均匀增加($P=Fv$,a 不变,F 不变,v 均匀增加),可按匀加速直线运动及平均功率处理。

(2)t_0 时刻 P 增至 $P_{额}$,$v_0=\frac{P_{额}}{F}$。$t_0\sim t_1$ 段 $P=P_{额}=Fv$,功率不变,F_f 不变,牵引力 F 和 a 变小,但速度 v 增加。此阶段牵引力是变力,牵引力的功为 $W=P(t_1-t_0)$。

(3)t_1 时刻后,$P_{额}=F_f\cdot v_m$ 成立。

说明 (1)机车以恒定加速度启动时,先后经过两个过程,匀加速运动结束时的速度,并未达到整个过程的最大速度 v_m,只是达到匀加速阶段的最大速度。

(2)在 $P=Fv$ 中因为 P 为机车牵引力的功率,所以对应的 F 是牵引力并非合力,这一点在计算时极易出错。

(3)只有最终匀速运动时才有 $F=F_f$、$v_m=\frac{P_{额}}{F}=\frac{P_{额}}{F_f}$。

例1 如图所示为修建高层建筑常用的塔式起重机。在起重机将质量 $m=5\times10^3$ kg 的重物竖直吊起的过程中,重物由静止开始向上做匀加速直线运动,加速度 $a=0.2$ m/s^2,当起重机输出功率达到其允许的最大值时,保持该功率直到重物做 $v_m=1.02$ m/s 的匀速直线运动。取 $g=10$ m/s^2,不计额外功。求:



(1)起重机允许输出的最大功率;

(2)重物做匀加速运动所经历的时间和起重机在第 2 秒末的输出功率。

解析　(1)设起重机输出的最大功率为 P_0,重物达到最大速度时,拉力 $F_0=mg$

即 $P_0=F_0v_m=mgv_m$

代入数据解得 $P_0=5.1\times10^4$ W

(2)匀加速运动结束时,起重机达到最大输出功率,设此时重物受到的拉力为 F,速度为 v_1,匀加速运动经历时间为 t_1 有:

$v_1=at_1$

$P_0=Fv_1$

$F-mg=ma$

代入数据解得 $F=5.1\times10^4$ N

$t_1=5$ s

$t=2$ s 时重物处于匀加速运动阶段,设此时速度为 v_2,起重机的输出功率为 P,则有 $v_2=at$,$P=Fv_2$

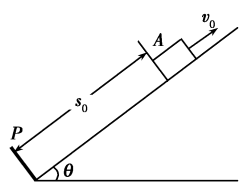
代入数据解得 $P=2.04\times10^4$ W

答案　(1)5.1×10^4 W　(2)5 s　2.04×10^4 W

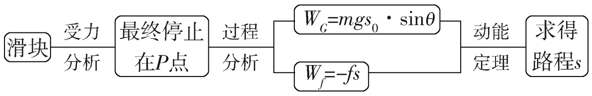
方法 2　巧用动能定理求总路程的方法

用动能定理求往返运动的总路程时,找到物体运动的初态和末态,受力分析,往往有摩擦阻力做功,其中将位移变为路程来计算求解。

例 2　如图所示,斜面倾角为 θ,质量为 m 的滑块在距挡板 P 的距离为 s_0 的 A 点以初速度 v_0 沿斜面上滑,滑块与斜面间的动摩擦因数为 μ,滑块所受摩擦力小于滑块沿斜面的“下滑力”,若滑块每次与挡板相碰,碰后以原速率返回,无动能损失,求滑块停止运动前在斜面上经过的路程。

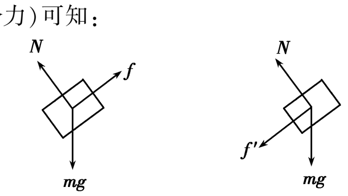


解题导引



解析　研究对象:滑块。

物理过程分析:滑块受重力 mg、支持力 N、摩擦力 f,示意图如图所示。由滑块所受摩擦力小于滑块沿斜面的“下滑力”(重力沿斜面的分力)可知:



下滑时　　上滑时

下滑时,合力 $F_{合1}=mg\sin\theta-f$,加速度 $a_1=\frac{F_{合1}}{m}$,方向沿斜面向下,匀加速下滑;

上滑时,合力 $F_{合2}=mg\sin\theta+f'$,加速度 $a_2=\frac{F_{合2}}{m}$,方向沿斜面向下,匀减速上滑。

$f=f'=\mu mg\cos\theta$

滑块由 A 点匀减速上滑至最高点 B,然后匀加速下滑至 P 点,碰后以原速率返回,因 $a_1<a_2$,所以滑块匀减速上滑所到达的最高位置将低于 B 点,然后又匀加速下滑,如此反复,上滑高度不断减小,最终停止在 P 点。设滑块停止运动前在斜面上经过的路程为 s。

根据动能定理:$mgs_0\times\sin\theta-fs=0-E_{k0}$,即

$mgs_0\times\sin\theta-\mu mg\cos\theta\times s=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

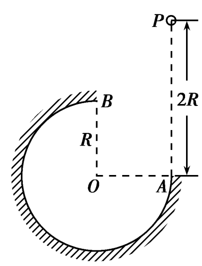
解得 $s=\frac{2gs_0\sin\theta+v_0^2}{2\mu g\cos\theta}$。

答案　$\frac{2gs_0\sin\theta+v_0^2}{2\mu g\cos\theta}$

方法 3　巧用功能关系处理问题

功是能量转化的量度,做了多少功,就有多少能量发生了转化。

例 3　如图所示,在竖直平面内有一半径为 R 的圆弧轨道,半径 OA 水平、OB 竖直,一个质量为 m 的小球自 A 的正上方 P 点由静止开始自由下落,小球沿轨道到达最高点 B 时恰好对轨道没有压力。已知 $AP=2R$,重力加速度为 g,则小球从 P 到 B 的运动过程中　(　　)



A.重力做功 $2mgR$　　B.机械能减少 mgR

C.合外力做功 mgR　　D.克服摩擦力做功 $mgR/2$

解析　小球从 P 点运动到 B 点的过程中重力做功为 mgR,选项 A 错误;设小球通过 B 点时的速度为 v_B,小球通过 B 点时刚好对轨道没有压力,说明此刻刚好由重力提供向心力,对小球通过 B 点瞬间应用牛顿第二定律有:$mg=m\frac{v_B^2}{R}$,解得 $v_B=\sqrt{gR}$,设小球从 P 点运动到 B 点的过程中克服摩擦力做功为 W,对此过程由动能定理有:$mgR-W=\frac{1}{2}mv_B^2$,联立得 $W=\frac{1}{2}mgR$,选项 D 正确;合外力做功 $W_合=mgR-W=\frac{1}{2}mgR$,选项 C 错误;小球机械能的减少量等于小球克服摩擦力所做的功,即 $\Delta E=W=\frac{1}{2}mgR$,选项 B 错误。

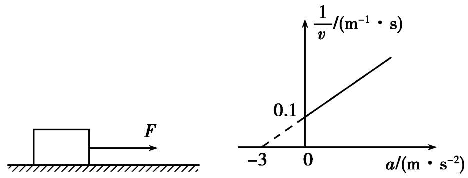
答案　D

方法集训

对应学生用书起始页码68

方法1 机车启动问题的处理方法

1.(2020届中原名校联盟质检)如图甲所示,水平面上一质量为m的物体在水平力F作用下开始做加速运动,力F的功率P保持恒定,运动过程中物体所受的阻力f大小不变,物体速度最终达到稳定值v_m,作用过程物体速度的倒数$\frac{1}{v}$与加速度a的关系图像如图乙所示。在已知功率P的情况下,根据图像所给信息可知以下说法中正确的是 ( )



甲 乙

A.可求出m、f和v_m

B.不能求出m

C.不能求出f

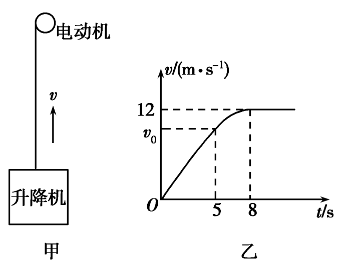
D.可求出加速运动时间

答案 A 当加速度为零时,物体做匀速运动,此时的牵引力等于阻力,速度为最大值,最大速度$v_m=\frac{1}{0.1}$ m/s=10 m/s;由功率的计算公式可得$P=Fv$,而$F-f=ma$,联立可得$\frac{1}{v}=\frac{m}{P}a+\frac{f}{P}$,物体速度的倒数$\frac{1}{v}$与加速度$a$的关系图像斜率为$k=\frac{m}{P}$,纵轴截距为$\frac{f}{P}=0.1\ \text{m}^{-1}\cdot\text{s}$,因此可求出$m$、$f$和$v_m$,选项A正确,B、C错误。物体做变加速运动,无法求出物体加速运动的时间,选项D错误。

2.如图甲所示,一升降机在电动机的拉力作用下,由静止开始沿竖直方向向上运动,在电动机的带动下,升降机先做匀加速运动,5 s末电动机达到额定功率,之后保持额定功率不变,升降机运动的$v-t$图像如图乙所示,已知电动机的额定功率$P=36$ kW,重力加速度g取10 m/s²,求:

(1)升降机的总质量。

(2)升降机在0~8 s内上升的高度。



甲 乙

答案 (1)300 kg (2)58.8 m

解析 (1)最终升降机做匀速运动,电动机的牵引力$F_{牵1}=mg$,电动机以额定功率工作时,有

$P_额=F_{牵1}v_{max}$

解得升降机的总质量$m=300$ kg

(2)当$t_1=5$ s时,升降机的速度$v_0=at_1$

电动机的牵引力$F_{牵2}=\frac{P}{v_0}$

根据牛顿第二定律得$F_{牵2}-mg=ma$

解得$a=2\ \text{m/s}^2$,$v_0=10$ m/s

则0~5 s内上升的高度$h_1=\frac{1}{2}at_1^2=25$ m

5~8 s内由动能定理得

$Pt_2-mgh_2=\frac{1}{2}mv_{max}^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得上升的高度$h_2=33.8$ m

则0~8 s内升降机上升的高度

$h=h_1+h_2=58.8$ m

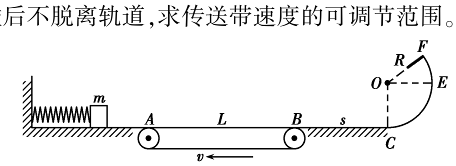
方法2 巧用动能定理求总路程的方法

1.(2020届甘肃兰州一中期中,25)如图所示,一根轻弹簧左端固定于竖直墙上,右端被质量$m=1$ kg可视为质点的小物块压缩而处于静止状态,且弹簧与物块不拴接,弹簧原长小于光滑平台的长度。在平台的右端有一传送带,AB长$L=5$ m,物块与传送带间的动摩擦因数$\mu_1=0.2$,与传送带相邻的粗糙水平面BC长$s=1.5$ m,它与物块间的动摩擦因数$\mu_2=0.3$,在C点右侧有一半径为R的光滑竖直圆弧轨道与BC平滑连接,圆弧对应的圆心角为$\theta=120°$,在圆弧轨道的最高点F处有一固定挡板,物块撞上挡板后会以原速率反弹回来。若传送带以$v=5$ m/s的速率顺时针转动,不考虑物块滑上和滑下传送带的机械能损失。当弹簧储存的$E_p=18$ J能量全部释放时,小物块恰能滑到与圆心等高的E点,取$g=10$ m/s²。

(1)求右侧圆弧轨道的半径R;

(2)求小物块最终停下时与C点的距离;

(3)若传送带的速度大小可调,欲使小物块与挡板只碰一次,且碰后不脱离轨道,求传送带速度的可调节范围。



答案 (1)0.8 m (2)$\frac{1}{3}$ m (3)$\sqrt{37}$ m/s≤v≤$\sqrt{43}$ m/s

解析 (1)物块被弹簧弹出,由$E_p=\frac{1}{2}mv_0^2$,可知:$v_0=6$ m/s

因为$v_0>v$,故物块滑上传送带后先减速,物块与传送带相对滑动过程中

由:$\mu_1mg=ma_1$,$v=v_0-a_1t_1$,$x_1=v_0t_1-\frac{1}{2}a_1t_1^2$

得:$a_1=2\ \text{m/s}^2$,$t_1=0.5$ s,$x_1=2.75$ m

因为$x_1<L$,故物块与传送带共速后相对静止,最后物块以5 m/s的速度滑上水平面BC,物块滑离传送带后恰到E点,由动能定理可知:$\frac{1}{2}mv^2=\mu_2mgs+mgR$

得:$R=0.8$ m

(2)设物块从E点返回至B点的速度为v_B,由$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_B^2=\mu_2mg\times2s$,得$v_B=\sqrt{7}$ m/s,因为$v_B>0$,故物块会再次滑上传送带,物块在恒定摩擦力的作用下先减速至0再反向加速,由运动的对称性可知其以相同的速率离开传送带,设最终停在距C点x处,由$\frac{1}{2}mv_B^2=\mu_2mg(s-x)$,得$x=\frac{1}{3}$ m。

(3)设传送带速度为v_1时物块恰能到F点,在F点满足$mg\sin30°=m\frac{v_F^2}{R}$

从 B 到 F 过程中由动能定理可知：$\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_F^2=\mu_2mgs+mg(R+R\sin 30°)$

得：$v_1=\sqrt{37}$ m/s

设传送带速度为 v_2 时，物块撞挡板后返回能再次上滑恰到 E 点

由：$\frac{1}{2}mv_2^2=\mu_2mg\times3s+mgR$

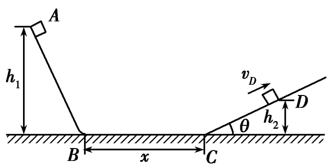
解得：$v_2=\sqrt{43}$ m/s

若物块在传送带上一直加速运动，由$\frac{1}{2}mv_{Bm}^2-\frac{1}{2}mv_0^2=\mu_1mgL$

知其到 B 点的最大速度 $v_{Bm}=\sqrt{56}$ m/s

综合上述分析可知，只要传送带速度$\sqrt{37}$ m/s$\leqslant v\leqslant\sqrt{43}$ m/s 就满足条件。

2.（2018 四川绵阳摸底，12）如图所示，装置由 AB、BC、CD 三段轨道组成，轨道交接处均由很小的圆弧平滑连接，其中轨道 AB、CD 段是光滑的，水平轨道 BC 的长度 $x=5$ m，轨道 CD 足够长且倾角 $\theta=37°$，A、D 两点离轨道 BC 的高度分别为 $h_1=4.30$ m，$h_2=1.35$ m。现让质量为 m 的小滑块（可视为质点）自 A 点由静止释放。已知小滑块与轨道 BC 间的动摩擦因数 $\mu=0.5$，重力加速度 g 取 10 m/s^2，sin 37°=0.6，cos 37°=0.8。求：



（1）小滑块第一次到达 D 点时的速度大小；

（2）小滑块第一次与第二次通过 C 点的时间间隔；

（3）小滑块最终停止的位置距 B 点的距离。

答案 （1）3 m/s （2）2 s （3）1.4 m

解析 （1）小滑块在 $A\to B\to C\to D$ 过程中，由动能定理得

$mg(h_1-h_2)-\mu mgx=\frac{1}{2}mv_D^2-0$

解得 $v_D=3$ m/s

（2）小滑块在 $A\to B\to C$ 过程中，由动能定理得 $mgh_1-\mu mgx=\frac{1}{2}mv_C^2$

解得 $v_C=6$ m/s

小滑块沿 CD 段上滑时的加速度大小

$a=g\sin\theta=6$ m/s^2

小滑块沿 CD 段上滑到最高点的时间 $t_1=\frac{v_C}{a}=1$ s

由对称性可知小滑块从最高点滑回 C 点的时间 $t_2=t_1=1$ s

故小滑块第一次与第二次通过 C 点的时间间隔 $t=t_1+t_2=2$ s

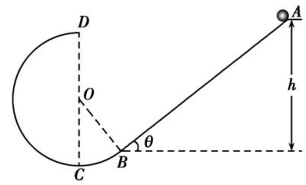
（3）对小滑块运动全过程应用动能定理，设小滑块在水平轨道上运动的总路程为 $x_{总}$

有 $mgh_1=\mu mgx_{总}$

解得 $x_{总}=8.6$ m，故小滑块最终停止的位置距 B 点的距离为 $2x-x_{总}=1.4$ m。

方法 3 巧用功能关系处理问题

1.（2018 安徽皖南八校联考，12）（多选）如图所示，竖直平面内有一固定的光滑轨道 $ABCD$，其中倾角为 $\theta=37°$的斜面 AB 与半径为 R 的圆弧轨道平滑相切于 B 点，CD 为竖直直径，O 为圆心。质量为 m 的小球（可视为质点）从与 B 点高度差为 h 的位置 A 点沿斜面由静止释放。重力加速度大小为 g，sin 37°=0.6，cos 37°=0.8，则下列说法正确的是 （ ）



A.当 $h=2R$ 时，小球过 C 点时对轨道的压力大小为$\frac{27}{5}mg$

B.当 $h=2R$ 时，小球会从 D 点离开圆弧轨道做平抛运动

C.当 $h=3R$ 时，小球运动到 D 点时对轨道的压力大小为 1.4mg

D.调整 h 的值，小球能从 D 点离开圆弧轨道，并能恰好落在 B 点

答案 **AC** 当 $h=2R$ 时，从 A 点到 C 点的过程，根据功能关系有：$mg(h+R-R\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_C^2$，过 C 点时有：$F_N-mg=m\frac{v_C^2}{R}$，解得：$F_N=\frac{27}{5}mg$，根据牛顿第三定律可知，小球过 C 点时对轨道的压力大小为$\frac{27}{5}mg$，A 正确；若小球恰好从 D 点离开圆弧轨道，则 $mg=\frac{mv_0^2}{R}$，$mg(h_0-R-R\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得：$v_0=\sqrt{gR}$，$h_0=2.3R>2R$，所以当 $h=2R$ 时，小球在运动到 D 点前已经脱离轨道，不会从 D 点离开圆弧轨道做平抛运动，B 错误；当 $h=3R$ 时，由功能关系可得：$mg(3R-R-R\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_D^2$，解得：$v_D=\sqrt{2.4gR}$，由牛顿第二定律可得：$F_N'+mg=m\frac{v_D^2}{R}$，解得：$F_N'=1.4mg$，由牛顿第三定律知，C 正确；若小球以速度 $v_0=\sqrt{gR}$从 D 点离开后做平抛运动，$R+R\cos\theta=\frac{1}{2}gt_0^2$，得：$t_0=6\sqrt{\frac{R}{10g}}$，而 $x=v_0t_0=\frac{6R}{\sqrt{10}}>0.6R$，D 错误。

2. 甲、乙是两只完全相同的排球，质量均为 m。A、B 是同一水平线的两个位置。排球甲由 A 点以初动能 E_0 竖直向上抛出，在甲到达最高点的同一时刻，将排球乙由 B 点以某一较小初动能竖直向上抛出，最终，甲、乙同一时刻回到各自抛出点，甲回到 A 点的动能为 $kE_0(k<1)$。已知，两只排球在运动过程中空气阻力大小相等且恒定，重力加速度为 g。求：

（1）取 AB 水平线为零势面，求甲在上升和下降过程中动能与重力势能相等时的高度分别是多少？

（2）乙球的初动能。

答案 （1）见解析 （2）$\frac{E_0}{(\sqrt{k}+1)^2}$

解析 （1）设空气阻力大小为 f，甲上升的最大高度为 H

甲上升过程，由动能定理有

$(mg+f)H=E_0$

甲下降过程，由动能定理有

$(mg-f)H=kE_0$

得：$f=\frac{1-k}{1+k}mg$

$H=\frac{(1+k)E_0}{2mg}$

设上升途中离 AB 高 h_1 处第一次动能等于重力势能，有

$mgh_1=E_0-(mg+f)h_1$

得 $h_1=\frac{(1+k)E_0}{(3+k)mg}$

设下降途中离 AB 高 h_2 处第二次动能等于重力势能,有

$(mg-f)(H-h_2)=mgh_2$

得 $h_2=\dfrac{k(k+1)E_0}{(3k+1)mg}$

(2)设两球上升、下落过程加速度大小分别为 a_1、a_2,甲下落时间为 t,乙上升、下落时间分别为 t_1、t_2,则

$t=t_1+t_2$

$H=\dfrac{1}{2}a_2t^2$

$mg+f=ma_1$

$mg-f=ma_2$

设乙上升最大高度为 h、乙的初速度为 v_m、乙的初动能为 E_{km},则

$h=\dfrac{1}{2}a_1t_1^2$

$h=\dfrac{1}{2}a_2t_2^2$

$v_m=a_1t_1$

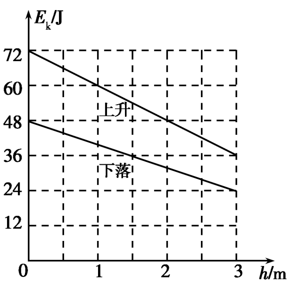
$E_{km}=\dfrac{1}{2}mv_m^2$

联立解得:$E_{km}=\dfrac{E_0}{(\sqrt{k}+1)^2}$

2015-2019 5年高考 对应学生用书 起始页码 230

A组 基础题组

1.(2019 课标Ⅲ,17,6分)从地面竖直向上抛出一物体,物体在运动过程中除受到重力外,还受到一大小不变、方向始终与运动方向相反的外力作用。距地面高度 h 在 3 m 以内时,物体上升、下落过程中动能 E_k 随 h 的变化如图所示。重力加速度取 10 m/s²。该物体的质量为 ( )



A.2 kg　　B.1.5 kg

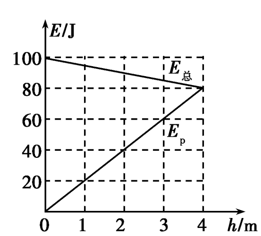
C.1 kg　　D.0.5 kg

答案 C 本题考查动能定理,体现了模型建构素养。

设外力大小为 f,在距地面高度 3 m 内的上升过程中,由动能定理知 $-(mg+f)h=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2$,由图像可知,$\dfrac{1}{2}mv_1^2=72$ J,$\dfrac{1}{2}mv_2^2=36$ J,得 $mg+f=12$ N。同理结合物体在下落过程中的 E_k-h 图像有 $mg-f=8$ N,联立解得 $mg=10$ N,则 $m=1$ kg,选项 C 正确。

审题指导 物体受到大小不变的外力,方向始终与速度方向相反,即上升时外力方向向下,下落时外力方向向上,这是解答此题的关键。

2.(2019 课标Ⅱ,18,6分)(多选)从地面竖直向上抛出一物体,其机械能 $E_总$ 等于动能 E_k 与重力势能 E_p 之和。取地面为重力势能零点,该物体的 $E_总$ 和 E_p 随它离开地面的高度 h 的变化如图所示。重力加速度取 10 m/s²。由图中数据可得 ( )



A.物体的质量为 2 kg

B.$h=0$ 时,物体的速率为 20 m/s

C.$h=2$ m 时,物体的动能 $E_k=40$ J

D.从地面至 $h=4$ m,物体的动能减少 100 J

答案 AD 本题考查动能、重力势能、机械能的概念和动能定理、功能关系的应用,以及利用数形结合处理物理问题的能力,体现了能量观念和科学推理的核心素养,同时还体现了图像展示物理关系的形式美。

重力势能 $E_p=mgh$,结合 E_p-h 图像有 $mg=\dfrac{80}{4}$ N,则 $m=2$ kg,故 A 正确。$h=0$ 时 $E_总=\dfrac{1}{2}mv_0^2$,即 $100\text{ J}=\dfrac{1}{2}\times2\text{ kg}\times v_0^2$,解得 $v_0=10$ m/s,故 B 错。由图像可知,$h=2$ m 时,$E_总=90$ J、$E_p=40$ J,则 $E_k=50$ J,故 C 错。当 $h=4$ m 时,$E_总=E_p=80$ J,则 $E_k=0$,故从地面至 $h=4$ m,物体的动能减少了 100 J,故 D 正确。

知识链接 非重力做功量度机械能的变化量,$W_非>0$ 时 $E_机$ 增加;$W_非<0$ 时 $E_机$ 减少;$W_非=0$ 时 $E_机$ 守恒。

3.(2018 课标Ⅱ,15,6分)高空坠物极易对行人造成伤害。若一个 50 g 的鸡蛋从一居民楼的 25 层坠下,与地面的碰撞时间约为 2 ms,则该鸡蛋对地面产生的冲击力约为 ( )

A.10 N　　B.10^2 N　　C.10^3 N　　D.10^4 N

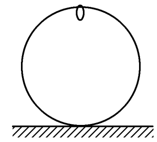
答案 C 本题考查机械能守恒定律、动量定理。由机械能守恒定律可得 $mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$,可知鸡蛋落地时速度大小 $v=\sqrt{2gh}$,鸡蛋与地面作用过程中,设竖直向上为正方向,由动量定理得 $(F-mg)t=0-(-mv)$,可知鸡蛋对地面产生的冲击力大小为 $F=\dfrac{mv}{t}+mg$,每层楼高度约为 3 m,则 $h=24\times3\text{ m}=72\text{ m}$,得 $F\approx949$ N,接近 10^3 N,故选项 C 正确。

易错点拨 估算能力

(1)每层楼高度约为 3 m,注意身边的物理知识。

(2)在计算时重点注意数量级。

4.(2017 课标Ⅱ,14,6分)如图,一光滑大圆环固定在桌面上,环面位于竖直平面内,在大圆环上套着一个小环。小环由大圆环的最高点从静止开始下滑,在小环下滑的过程中,大圆环对它的作用力 ( )



A.一直不做功　　B.一直做正功

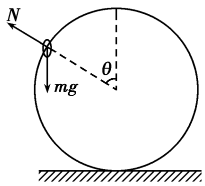
C.始终指向大圆环圆心　　D.始终背离大圆环圆心

答案 A 本题考查功、圆周运动,考查学生的理解能力、推理能力。大圆环对小环的作用力总是沿大圆环半径方向,与速度方向垂直,故大圆环对小环的作用力不做功,选项 A 正确,B

错误。开始时大圆环对小环的作用力方向背离大圆环圆心，一段时间后作用力方向指向大圆环圆心，故选项C、D错误。

解题指导 (1)弹力的方向总是垂直于接触面，并且速度的方向总是沿接触面的切线方向，因此在固定接触面上滑动时，弹力总不做功。

(2)重力在半径方向上的分量与大圆环对小环的作用力的矢量和提供小环做圆周运动的向心力，设小环转过的角度为θ，如图所示，小环此时的速度为v，大圆环对小环的作用力为N，由功能关系和圆周运动公式有



$\frac{1}{2}mv^2=mgR(1-\cos\theta)$

$m\frac{v^2}{R}=mg\cos\theta-N$

解出 $N=3mg\cos\theta-2mg$

由此可知，当 $3mg\cos\theta>2mg$ 时，N的方向背离大圆环圆心，当 $3mg\cos\theta<2mg$ 时，N的方向指向大圆环圆心。

5.(2016课标Ⅱ,19,6分)(多选)两实心小球甲和乙由同一种材料制成，甲球质量大于乙球质量。两球在空气中由静止下落，假设它们运动时受到的阻力与球的半径成正比，与球的速率无关。若它们下落相同的距离，则 ( )

A.甲球用的时间比乙球长

B.甲球末速度的大小大于乙球末速度的大小

C.甲球加速度的大小小于乙球加速度的大小

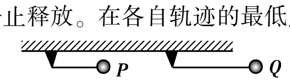
D.甲球克服阻力做的功大于乙球克服阻力做的功

答案 BD 甲、乙下落的时间与加速度有关，应先求加速度，由$m_甲=\rho V_甲=\rho(\frac{4}{3}\pi R_甲^3)$得$R_甲=\sqrt[3]{\frac{3m_甲}{4\rho\pi}}$，阻力$f_甲=kR_甲=k\sqrt[3]{\frac{3m_甲}{4\rho\pi}}$，由牛顿第二定律知$a_甲=\frac{m_甲g-f_甲}{m_甲}=g-k\sqrt[3]{\frac{3}{4\rho\pi m_甲^2}}$，同理$a_乙=g-k\sqrt[3]{\frac{3}{4\rho\pi m_乙^2}}$，因$m_甲>m_乙$，所以$a_甲>a_乙$，故C项错误；再由位移公式$h=\frac{1}{2}at^2$可知$t_甲<t_乙$，故A项错误；再由速度位移公式$v^2=2ah$得$v_甲>v_乙$，B项正确；甲球受到的阻力大，甲、乙下落距离相等，故甲球克服阻力做的功大于乙球克服阻力做的功，D项正确。

解题指导 关键词：①同一种材料；②甲球质量大于乙球质量；③静止下落；④阻力与球的半径成正比。

解题时应先易后难，逐次找到各物理量的正确表达式，然后再进一步分析求解。

6.(2016课标Ⅱ,16,6分)小球P和Q用不可伸长的轻绳悬挂在天花板上，P球的质量大于Q球的质量，悬挂P球的绳比悬挂Q球的绳短。将两球拉起，使两绳均被水平拉直，如图所示。将两球由静止释放。在各自轨迹的最低点 ( )



A.P球的速度一定大于Q球的速度

B.P球的动能一定小于Q球的动能

C.P球所受绳的拉力一定大于Q球所受绳的拉力

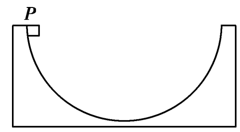
D.P球的向心加速度一定小于Q球的向心加速度

答案 C 设小球的质量为m，绳长为L，根据动能定理得$mgL=\frac{1}{2}mv^2$，解得$v=\sqrt{2gL}$，$L_P<L_Q$，所以$v_P<v_Q$，故A项错误。小球动能$E_k=mgL$，其中$m_P>m_Q$，$L_P<L_Q$，所以无法判断它们的动能大小关系，B项错误。$F_拉-mg=\frac{mv^2}{L}$，将$v=\sqrt{2gL}$代入得$F_拉=3mg$，因为$m_P>m_Q$，所以P球所受绳的拉力大于Q球所受绳的拉力，故C项正确。向心加速度$a=\frac{v^2}{L}=2g$，所以在轨迹的最低点，P、Q两球的向心加速度相同，故D项错误。

方法技巧 利用动能定理和向心力公式正确列出方程，快速解出结果来找正确选项。

评析 本题涉及机械能和曲线运动的内容，考查学生用动能定理和向心力公式解决问题的能力。

7.(2016课标Ⅲ,20,6分)(多选)如图，一固定容器的内壁是半径为R的半球面；在半球面水平直径的一端有一质量为m的质点P。它在容器内壁由静止下滑到最低点的过程中，克服摩擦力做的功为W。重力加速度大小为g。设质点P在最低点时，向心加速度的大小为a，容器对它的支持力大小为N，则 ( )



A.$a=\frac{2(mgR-W)}{mR}$　　B.$a=\frac{2mgR-W}{mR}$

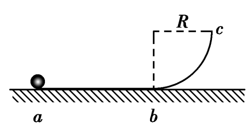
C.$N=\frac{3mgR-2W}{R}$　　D.$N=\frac{2(mgR-W)}{R}$

答案 AC 由动能定理知，在P从最高点下滑到最低点的过程中$mgR-W=\frac{1}{2}mv^2$，在最低点的向心加速度$a=\frac{v^2}{R}$，联立得$a=\frac{2(mgR-W)}{mR}$，选项A正确；在最低点时有$N-mg=ma$，所以$N=\frac{3mgR-2W}{R}$，选项C正确。

易错点拨 (1)由于有摩擦力存在，下滑过程机械能不守恒，只能用动能定理求解。(2)a为质点在最低点时的瞬时加速度大小，$a=\frac{v^2}{R}$中的v为质点在最低点时的瞬时速度大小。

评析 本题考查动能定理和圆周运动知识，属于两知识点结合问题，难度中等，解出最低点速度大小是解决本题的关键。

8.(2018课标Ⅰ,18,6分)如图，abc是竖直面内的光滑固定轨道，ab水平，长度为$2R$；bc是半径为R的四分之一圆弧，与ab相切于b点。一质量为m的小球，始终受到与重力大小相等的水平外力的作用，自a点处从静止开始向右运动。重力加速度大小为g。小球从a点开始运动到其轨迹最高点，机械能的增量为 ( )



A.$2mgR$　B.$4mgR$　C.$5mgR$　D.$6mgR$

答案 C 本题考查分运动的独立性、恒力做功的特点及功能关系。以小球为研究对象，在小球由a到c的过程中，应用动能定理有$F\cdot x_{ab}+F\cdot R-mgR=\frac{1}{2}mv_c^2$，其中水平力大小$F=mg$，得$v_c=2\sqrt{gR}$。经过$c$点以后，在竖直方向上小球做竖直上抛运动，上升的时间$t_升=\frac{v_c}{g}=2\sqrt{\frac{R}{g}}$。在水平方向上小球做加速度为$a_x$的匀加速运动，由牛顿第二定律得$F=ma_x$，且$F=$

mg,得 $a_x=g$。在时间 $t_{升}$ 内,小球在水平方向上的位移 $x=\frac{1}{2}a_xt_{升}^2=2R$,故力 F 在整个过程中对小球做的功 $W=Fx_{ab}+FR+Fx=5mgR$。由功能关系,得 $\Delta E=W=5mgR$。故 C 正确,A、B、D 错误。

审题关键 关键词理解,隐形条件显性化

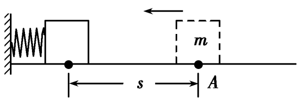
1.恒力 F 的方向判断:由题中条件①光滑轨道、②小球始终受到水平外力作用、③自 a 点从静止开始向右运动,可判断出外力 F 方向水平向右。

2.由于外力 $F=mg$,小球到达 c 点瞬间 $v_c>0$,可判断球经过 c 点后将继续向斜上方运动,当竖直方向速度为零时小球到达最高点。

3.恒力做功等于恒力和物体在力方向上位移的乘积:$W=F\cdot s$。

4.由功能关系确定机械能增量。

9.(2019 江苏单科,8,4 分)(多选)如图所示,轻质弹簧的左端固定,并处于自然状态。小物块的质量为 m,从 A 点向左沿水平地面运动,压缩弹簧后被弹回,运动到 A 点恰好静止。物块向左运动的最大距离为 s,与地面间的动摩擦因数为 μ,重力加速度为 g,弹簧未超出弹性限度。在上述过程中 ( )



A.弹簧的最大弹力为 μmg

B.物块克服摩擦力做的功为 $2\mu mgs$

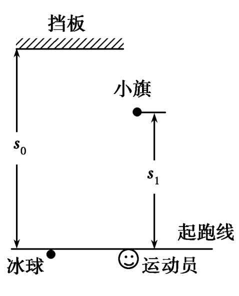
C.弹簧的最大弹性势能为 μmgs

D.物块在 A 点的初速度为 $\sqrt{2\mu gs}$

答案 BC 本题考查动能定理,对物块不同运动过程的分析能体现学生的综合分析能力。

对物块从 A 点开始到再回到 A 点整个过程,由动能定理可知 $W_f=-2\mu mgs=0-\frac{1}{2}mv_A^2$,则 $v_A=2\sqrt{\mu gs}$,故 B 正确,D 错误。对物块从 A 点开始到弹簧压缩量最大这一过程,由动能定理可知 $W_{弹}+W_f'=0-\frac{1}{2}mv_A^2$,$W_f'=-\mu mgs$,则 $W_{弹}=-\mu mgs$,即物块克服弹力做功为 μmgs,所以弹簧弹性势能增加 μmgs,故 C 正确。当克服弹力做功为 μmgs 时,弹簧的最大弹力要大于 μmg,故 A 错误。

10.(2017 课标Ⅱ,24,12 分)为提高冰球运动员的加速能力,教练员在冰面上与起跑线相距 s_0 和 $s_1(s_1<s_0)$ 处分别放置一个挡板和一面小旗,如图所示。训练时,让运动员和冰球都位于起跑线上,教练员将冰球以初速度 v_0 击出,使冰球在冰面上沿垂直于起跑线的方向滑向挡板;冰球被击出的同时,运动员垂直于起跑线从静止出发滑向小旗。训练要求当冰球到达挡板时,运动员至少到达小旗处。假定运动员在滑行过程中做匀加速运动,冰球到达挡板时的速度为 v_1。重力加速度大小为 g。求



(1)冰球与冰面之间的动摩擦因数;

(2)满足训练要求的运动员的最小加速度。

答案 (1)$\frac{v_0^2-v_1^2}{2gs_0}$ (2)$\frac{s_1(v_1+v_0)^2}{2s_0^2}$

解析 (1)设冰球的质量为 m,冰球与冰面之间的动摩擦因数为 μ,由动能定理得

$$-\mu mgs_0=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \quad ①$$

解得 $\mu=\frac{v_0^2-v_1^2}{2gs_0}$ ②

(2)冰球到达挡板时,满足训练要求的运动员中,刚好到达小旗处的运动员的加速度最小。设这种情况下,冰球和运动员的加速度大小分别为 a_1 和 a_2,所用的时间为 t。

由运动学公式得 $v_0^2-v_1^2=2a_1s_0$ ③

$$v_0-v_1=a_1t \quad ④$$

$$s_1=\frac{1}{2}a_2t^2 \quad ⑤$$

联立③④⑤式得 $a_2=\frac{s_1(v_1+v_0)^2}{2s_0^2}$ ⑥

11.(2019 天津理综,10,16 分)完全由我国自行设计、建造的国产新型航空母舰已完成多次海试,并取得成功。航母上的舰载机采用滑跃式起飞,故甲板是由水平甲板和上翘甲板两部分构成,如图 1 所示。为了便于研究舰载机的起飞过程,假设上翘甲板 BC 是与水平甲板 AB 相切的一段圆弧,示意如图 2,AB 长 $L_1=150$ m,BC 水平投影 $L_2=63$ m,图中 C 点切线方向与水平方向的夹角 $\theta=12°$($\sin 12°\approx0.21$)。若舰载机从 A 点由静止开始做匀加速直线运动,经 $t=6$ s 到达 B 点进入 BC。已知飞行员的质量 $m=60$ kg,$g=10$ m/s²,求

(1)舰载机水平运动的过程中,飞行员受到的水平力所做功 W;

(2)舰载机刚进入 BC 时,飞行员受到竖直向上的压力 F_N 多大。



图1

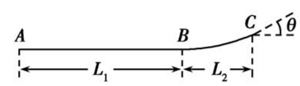


图2

答案 (1)7.5×10^4 J (2)1.1×10^3 N

解析 本题考查匀变速直线运动、动能定理、圆周运动。通过对舰载机整个起飞过程的运动分析、受力分析,以及学生的综合分析能力,体现了科学推理的核心素养。国产航母是大国重器,通过本题也能厚植爱国情怀。

(1)舰载机由静止开始做匀加速直线运动,设其刚进入上翘甲板时的速度为 v,则有

$$\frac{v}{2}=\frac{L_1}{t} \quad ①$$

根据动能定理,有

$$W=\frac{1}{2}mv^2-0 \quad ②$$

联立①②式,代入数据,得

$$W=7.5\times10^4\text{ J} \quad ③$$

(2)设上翘甲板所对应的圆弧半径为 R,根据几何关系,有

$$L_2=R\sin\theta \quad ④$$

由牛顿第二定律,有

$$F_N-mg=m\frac{v^2}{R} \quad ⑤$$

联立①④⑤式,代入数据,得

$F_N = 1.1\times10^3$ N　⑥

一题多解　对(1)问:

舰载机由静止开始做匀加速直线运动

设其匀加速阶段的加速度大小为 a,则有

$L_1 = \frac{1}{2}at^2$　①

对飞行员分析得

$F = ma$　②

飞行员受到的水平力所做的功

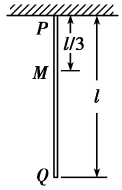
$W = FL_1$　③

联立①②③得

$W = 7.5\times10^4$ J

B 组　提升题组

1.(2017 课标Ⅲ,16,6 分)如图,一质量为 m、长度为 l 的均匀柔软细绳 PQ 竖直悬挂。用外力将绳的下端 Q 缓慢地竖直向上拉起至 M 点,M 点与绳的上端 P 相距 $\frac{1}{3}l$。重力加速度大小为 g。在此过程中,外力做的功为　(　　)



A. $\frac{1}{9}mgl$　　B. $\frac{1}{6}mgl$

C. $\frac{1}{3}mgl$　　D. $\frac{1}{2}mgl$

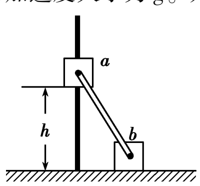
答案　A　将绳的下端 Q 缓慢向上拉至 M 点,相当于使下部分 $\frac{1}{3}$ 的绳的重心升高 $\frac{1}{3}l$,故重力势能增加 $\frac{1}{3}mg\cdot\frac{l}{3}=\frac{1}{9}mgl$,由功能关系可知 A 项正确。

一题多解　尝试不同方法解题

解法一　Q 缓慢移动说明绳子的动能变化忽略不计。以 Q 点为零势能点,细绳的初始机械能为 $\frac{1}{2}mgl$,末态机械能为 $\frac{1}{3}mg\cdot\frac{5}{6}l+\frac{2}{3}mg\cdot\frac{l}{2}=\frac{11}{18}mgl$,则增加的 $\Delta E=\frac{11}{18}mgl-\frac{1}{2}mgl=\frac{1}{9}mgl$。由功能关系可知 A 项正确。

解法二　作用点位移 $x=\frac{2}{3}l$,平均作用力为 $\frac{1}{6}mg$,故拉力做功 $W=\overline{F}\cdot x=\frac{1}{9}mgl$,故 A 项正确。

2.(2015 课标Ⅱ,21,6 分)(多选)如图,滑块 a、b 的质量均为 m,a 套在固定竖直杆上,与光滑水平地面相距 h,b 放在地面上。a、b 通过铰链用刚性轻杆连接,由静止开始运动。不计摩擦,a、b 可视为质点,重力加速度大小为 g。则　(　　)



A. a 落地前,轻杆对 b 一直做正功

B. a 落地时速度大小为 $\sqrt{2gh}$

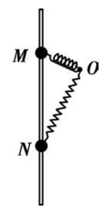
C. a 下落过程中,其加速度大小始终不大于 g

D. a 落地前,当 a 的机械能最小时,b 对地面的压力大小为 mg

答案　BD　因为杆对滑块 b 的限制,a 落地时 b 的速度为零,所以 b 的运动为先加速后减速,杆对 b 的作用力对 b 做的功即为 b 所受合外力做的总功,由动能定理可知,杆对 b 先做正功后做负功,故 A 错。对 a、b 组成的系统应用机械能守恒定律有:$mgh=\frac{1}{2}mv_a^2$,$v_a=\sqrt{2gh}$,故 B 正确。杆对 a 的作用效果为先推后拉,杆对 a 的作用力为拉力时,a 下落过程中的加速度大小会大于 g,即 C 错。由功能关系可知,当杆对 a 的推力减为零的时刻,即为 a 的机械能最小的时刻,此时杆对 a 和 b 的作用力均为零,故 b 对地面的压力大小为 mg,D 正确。

评析　本题综合性很强,对考生的分析推理能力要求较高,因此难度较大。从知识层面看,考查了受力分析、牛顿第二定律、功、动能定理、机械能守恒定律。分析滑块 b 的速度变化,是解决本题的突破口。

3.(2016 课标Ⅱ,21,6 分)(多选)如图,小球套在光滑的竖直杆上,轻弹簧一端固定于 O 点,另一端与小球相连。现将小球从 M 点由静止释放,它在下降的过程中经过了 N 点。已知在 M、N 两点处,弹簧对小球的弹力大小相等,且 $\angle ONM<\angle OMN<\frac{\pi}{2}$。在小球从 M 点运动到 N 点的过程中,　(　　)



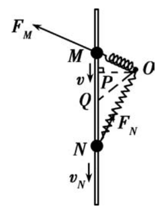
A.弹力对小球先做正功后做负功

B.有两个时刻小球的加速度等于重力加速度

C.弹簧长度最短时,弹力对小球做功的功率为零

D.小球到达 N 点时的动能等于其在 M、N 两点的重力势能差

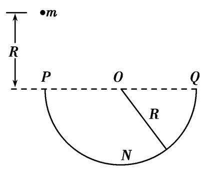
答案　BCD　如图所示,OP 垂直于竖直杆,Q 点与 M 点关于 OP 对称,在小球从 M 点到 Q 点的过程中,弹簧弹力先做负功后做正功,故 A 错。在 P 点弹簧长度最短,弹力方向与速度方向垂直,故此时弹力对小球做功的功率为零,即 C 正确。小球在 P 点时所受弹簧弹力等于竖直杆给它的弹力,竖直方向上只受重力,此时小球加速度为 g,当弹簧处于自由长度时,小球只受重力作用,此时小球的加速度也为 g,故 B 正确。小球和弹簧组成的系统机械能守恒,小球在 M 点和 N 点时弹簧的弹性势能相等,故小球从 M 到 N 重力势能的减少量等于动能的增加量,而小球在 M 点的动能为零,故 D 正确。



审题指导　审题时关键的词、句:“光滑”、“静止释放”、“在 M、N 两点处,弹簧对小球的弹力大小相等”、“$\angle ONM<\angle OMN<\frac{\pi}{2}$”。理解了上述词、句的用意,本题就不难解决了。

温馨提示　题目所给的信息多,不明确,这就需要把隐含条件显形化。如:①在 M、N 两点处,弹簧对小球的弹力大小相等,则意味着 M 点弹簧处于压缩状态,而 N 点处于伸长状态,且弹簧的形变量相等,弹簧的弹性势能相等。②光滑杆,则意味着从 M 到 N 过程中小球和弹簧组成的系统机械能守恒。

4.(2015 课标Ⅰ,17,6 分)如图,一半径为 R、粗糙程度处处相同的半圆形轨道竖直固定放置,直径 POQ 水平。一质量为 m 的质点自 P 点上方高度 R 处由静止开始下落,恰好从 P 点进入轨道。质点滑到轨道最低点 N 时,对轨道的压力为 $4mg$,g 为重力加速度的大小。用 W 表示质点从 P 点运动到 N 点的过程中克服摩擦力所做的功。则　(　　)



A. $W=\frac{1}{2}mgR$,质点恰好可以到达 Q 点

B. $W>\frac{1}{2}mgR$,质点不能到达 Q 点

C. $W=\frac{1}{2}mgR$,质点到达 Q 点后,继续上升一段距离

D. $W<\frac{1}{2}mgR$,质点到达 Q 点后,继续上升一段距离

答案 C 质点由静止开始下落到最低点 N 的过程中

由动能定理:$mg\cdot 2R-W=\frac{1}{2}mv^2$

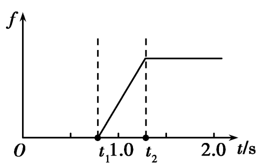
质点在最低点:$F_N-mg=\frac{mv^2}{R}$

由牛顿第三定律得:$F_N=4mg$

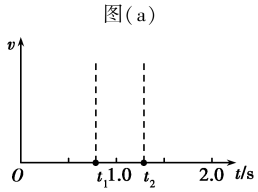
联立得 $W=\frac{1}{2}mgR$,质点由 N 点到 Q 点的过程中在等高位置处的速度总小于由 P 点到 N 点下滑时的速度,故由 N 点到 Q 点过程克服摩擦力做功 $W'<W$,故质点到达 Q 点后,会继续上升一段距离,选项 C 正确。

方法指导 本题主要考查动能定理在运动问题中的运用,运用动能定理时不需要考虑运动的中间过程,无论中间过程是恒力做功还是变力做功均适用,因而在解决运动问题时,尤其涉及变力做功时优先考虑使用动能定理,其次考虑使用牛顿运动定律。

5.(2019 课标Ⅱ,25,20 分)一质量为 $m=2\ 000$ kg 的汽车以某一速度在平直公路上匀速行驶。行驶过程中,司机突然发现前方 100 m 处有一警示牌,立即刹车。刹车过程中,汽车所受阻力大小随时间的变化可简化为图(a)中的图线。图(a)中,$0\sim t_1$ 时间段为从司机发现警示牌到采取措施的反应时间(这段时间内汽车所受阻力已忽略,汽车仍保持匀速行驶),$t_1=0.8$ s;$t_1\sim t_2$ 时间段为刹车系统的启动时间,$t_2=1.3$ s;从 t_2 时刻开始汽车的刹车系统稳定工作,直至汽车停止。已知从 t_2 时刻开始,汽车第 1 s 内的位移为 24 m,第 4 s 内的位移为 1 m。



图(a)



图(b)

(1)在图(b)中定性画出从司机发现警示牌到刹车系统稳定工作后汽车运动的 $v-t$ 图线;

(2)求 t_2 时刻汽车的速度大小及此后的加速度大小;

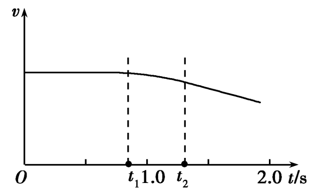
(3)求刹车前汽车匀速行驶时的速度大小及 $t_1\sim t_2$ 时间内汽车克服阻力做的功;从司机发现警示牌到汽车停止,汽车行驶的距离约为多少(以 $t_1\sim t_2$ 时间段始末速度的算术平均值替代这段时间内汽车的平均速度)?

答案 (1)见解析 (2)28 m/s 8 m/s^2

(3)30 m/s 1.16×10^5 J 87.5 m

解析 本题综合考查了动能定理、动量定理等基本考点,考查了学生综合分析及运用数学知识解决问题的能力,体现了科学推理与科学论证的素养要素,通过研究汽车的运动渗透了关注生产、生活的价值观念。

(1)$v-t$ 图像如图所示。



(2)设刹车前汽车匀速行驶时的速度大小为 v_1,则 t_1 时刻的速度也为 v_1;t_2 时刻的速度为 v_2。在 t_2 时刻后汽车做匀减速运动,设其加速度大小为 a。取 $\Delta t=1$ s。设汽车在 $t_2+(n-1)\Delta t\sim t_2+n\Delta t$ 内的位移为 s_n,$n=1,2,3,\cdots$。

若汽车在 $t_2+3\Delta t\sim t_2+4\Delta t$ 时间内未停止,设它在 $t_2+3\Delta t$ 时刻的速度为 v_3,在 $t_2+4\Delta t$ 时刻的速度为 v_4,由运动学公式有

$s_1-s_4=3a(\Delta t)^2$ ①

$s_1=v_2\Delta t-\frac{1}{2}a(\Delta t)^2$ ②

$v_4=v_2-4a\Delta t$ ③

联立①②③式,代入已知数据解得

$v_4=-\frac{17}{6}$ m/s ④

这说明在 $t_2+4\Delta t$ 时刻前,汽车已经停止。因此,①式不成立。

由于在 $t_2+3\Delta t\sim t_2+4\Delta t$ 内汽车停止,由运动学公式

$v_3=v_2-3a\Delta t$ ⑤

$2as_4=v_3^2$ ⑥

联立②⑤⑥式,代入已知数据解得

$a=8$ m/s^2,$v_2=28$ m/s ⑦

或 $a=\frac{288}{25}$ m/s^2,$v_2=29.76$ m/s ⑧

但⑧式情形下,$v_3<0$,不合题意,舍去。

(3)设汽车的刹车系统稳定工作时,汽车所受阻力的大小为 f_1。由牛顿第二定律有

$f_1=ma$ ⑨

在 $t_1\sim t_2$ 时间内,阻力对汽车冲量的大小为

$I=\frac{1}{2}f_1(t_2-t_1)$ ⑩

由动量定理有

$I=mv_1-mv_2$ ⑪

由动能定理,在 $t_1\sim t_2$ 时间内,汽车克服阻力做的功为

$W=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2$ ⑫

联立⑦⑨⑩⑪⑫式,代入已知数据解得

$v_1=30$ m/s ⑬

$W=1.16\times10^5$ J ⑭

从司机发现警示牌到汽车停止,汽车行驶的距离 s 约为

$s=v_1t_1+\frac{1}{2}(v_1+v_2)(t_2-t_1)+\frac{v_2^2}{2a}$ ⑮

联立⑦⑬⑮式,代入已知数据解得

$s=87.5$ m ⑯

技巧点拨 汽车在刹车过程中停止运动的时刻未知,可采用

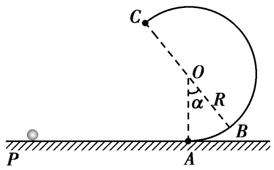
假设法,由方程解得的结果判定假设的正确性,这是在高中物理学习中常用的一种方法。

6.(2018 课标Ⅲ,25,20 分)如图,在竖直平面内,一半径为 R 的光滑圆弧轨道 ABC 和水平轨道 PA 在 A 点相切,BC 为圆弧轨道的直径,O 为圆心,OA 和 OB 之间的夹角为 α,$\sin\alpha=\frac{3}{5}$。一质量为 m 的小球沿水平轨道向右运动,经 A 点沿圆弧轨道通过 C 点,落至水平轨道;在整个过程中,除受到重力及轨道作用力外,小球还一直受到一水平恒力的作用。已知小球在 C 点所受合力的方向指向圆心,且此时小球对轨道的压力恰好为零。重力加速度大小为 g。求

(1)水平恒力的大小和小球到达 C 点时速度的大小;

(2)小球到达 A 点时动量的大小;

(3)小球从 C 点落至水平轨道所用的时间。



答案 (1)$\frac{3}{4}mg$ $\frac{\sqrt{5gR}}{2}$ (2)$\frac{m\sqrt{23gR}}{2}$ (3)$\frac{3}{5}\sqrt{\frac{5R}{g}}$

解析 本题考查圆周运动、抛体运动、动能定理、动量。

(1)设水平恒力的大小为 F_0,小球到达 C 点时所受合力的大小为 F。由力的合成法则有

$$\frac{F_0}{mg}=\tan\alpha \quad ①$$

$$F^2=(mg)^2+F_0^2 \quad ②$$

设小球到达 C 点时的速度大小为 v,由牛顿第二定律得

$$F=m\frac{v^2}{R} \quad ③$$

由①②③式和题给数据得

$$F_0=\frac{3}{4}mg \quad ④$$

$$v=\frac{\sqrt{5gR}}{2} \quad ⑤$$

(2)设小球到达 A 点的速度大小为 v_1,作 $CD\perp PA$,交 PA 于 D 点,由几何关系得

$$DA=R\sin\alpha \quad ⑥$$

$$CD=R(1+\cos\alpha) \quad ⑦$$

由动能定理有

$$-mg\cdot CD-F_0\cdot DA=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_1^2 \quad ⑧$$

由④⑤⑥⑦⑧式和题给数据得,小球在 A 点的动量大小为

$$p=mv_1=\frac{m\sqrt{23gR}}{2} \quad ⑨$$

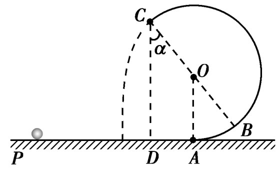
(3)小球离开 C 点后在竖直方向上做初速度不为零的匀加速运动,加速度大小为 g。设小球在竖直方向的初速度为 $v_\perp$,从 C 点落至水平轨道上所用时间为 t。由运动学公式有

$$v_\perp t+\frac{1}{2}gt^2=CD \quad ⑩$$

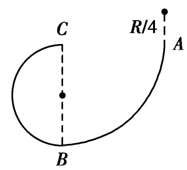
$$v_\perp=v\sin\alpha \quad ⑪$$

由⑤⑦⑩⑪式和题给数据得

$$t=\frac{3}{5}\sqrt{\frac{5R}{g}} \quad ⑫$$



7.(2016 课标Ⅲ,24,12 分)如图,在竖直平面内有由$\frac{1}{4}$圆弧 AB 和$\frac{1}{2}$圆弧 BC 组成的光滑固定轨道,两者在最低点 B 平滑连接。AB 弧的半径为 R,BC 弧的半径为$\frac{R}{2}$。一小球在 A 点正上方与 A 相距$\frac{R}{4}$处由静止开始自由下落,经 A 点沿圆弧轨道运动。



(1)求小球在 B、A 两点的动能之比;

(2)通过计算判断小球能否沿轨道运动到 C 点。

答案 见解析

解析 (1)设小球的质量为 m,小球在 A 点的动能为 E_{kA},由机械能守恒得 $E_{kA}=mg\frac{R}{4}$ ①

设小球在 B 点的动能为 E_{kB},同理有 $E_{kB}=mg\frac{5R}{4}$ ②

由①②式得$\frac{E_{kB}}{E_{kA}}=5$ ③

(2)若小球能沿轨道运动到 C 点,小球在 C 点所受轨道的正压力 N 应满足 $N\geqslant 0$ ④

设小球在 C 点的速度大小为 v_C,由牛顿运动定律和向心加速度公式有 $N+mg=m\frac{v_C^2}{\frac{R}{2}}$ ⑤

由④⑤式得,v_C 应满足 $mg\leqslant m\frac{2v_C^2}{R}$ ⑥

由机械能守恒有 $mg\frac{R}{4}=\frac{1}{2}mv_C^2$ ⑦

由⑥⑦式可知,小球恰好可以沿轨道运动到 C 点。

评分参考 第(1)问 6 分,①②③式各 2 分;第(2)问 6 分,⑥⑦式各 2 分,“可以运动到 C 点”2 分。

反思总结 此题考查机械能守恒和竖直平面内的圆周运动中临界值问题,难度中等。应参照“绳球”模型的处理方法。

C组 教师专用题组

1.(2015四川理综,1,6分)在同一位置以相同的速率把三个小球分别沿水平、斜向上、斜向下方向抛出,不计空气阻力,则落在同一水平地面时的速度大小 ( )

A.一样大 B.水平抛的最大

C.斜向上抛的最大 D.斜向下抛的最大

答案 A 根据机械能守恒定律可知,落地时三个小球的速度大小相同。

2.(2013课标Ⅱ,20,6分,0.515)(多选)目前,在地球周围有许多人造地球卫星绕着它运转,其中一些卫星的轨道可近似为圆,且轨道半径逐渐变小。若卫星在轨道半径逐渐变小的过程中,只受到地球引力和稀薄气体阻力的作用,则下列判断正确的是 ( )

A.卫星的动能逐渐减小

B.由于地球引力做正功,引力势能一定减小

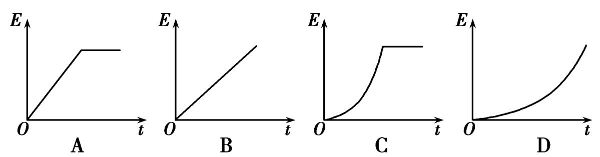
C.由于气体阻力做负功,地球引力做正功,机械能保持不变

D.卫星克服气体阻力做的功小于引力势能的减小

答案 BD 卫星轨道半径逐渐减小,线速度可认为依然满足 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,则卫星的动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times\frac{GMm}{R}$ 逐渐增大,A错误。由于 $W_{引}>0$,则引力势能减小,B正确。由于 $W_f\neq0$,有非重力做功,则机械能不守恒,C错误。由 $W_{引}-W_f=\Delta E_k>0$,所以 $W_f<W_{引}=|\Delta E_p|$,可知D正确。

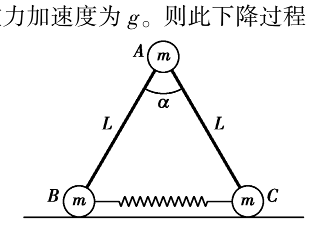
解题关键 ①轨道逐渐变小,即 R 在减小,但是就某一时刻或一小段时间而言,可认为卫星做圆周运动。②稀薄空气阻力作用的效果是使卫星的机械能逐渐减小,运动半径 R 减小,高度降低、速度增大。

3.(2014上海单科,11,3分)静止在地面上的物体在竖直向上的恒力作用下上升,在某一高度撤去恒力。不计空气阻力,在整个上升过程中,物体机械能随时间变化关系是 ( )



答案 C 以地面为零势能面,以竖直向上为正方向,则对物体,在撤去外力前,有 $F-mg=ma$,$h=\frac{1}{2}at^2$,某一时刻的机械能 $E=\Delta E=F\cdot h$,解以上各式得 $E=\frac{Fa}{2}\cdot t^2\propto t^2$,撤去外力后,物体机械能守恒,故只有C正确。

4.(2017江苏单科,9,4分)(多选)如图所示,三个小球 A、B、C 的质量均为 m,A 与 B、C 间通过铰链用轻杆连接,杆长为 L。B、C 置于水平地面上,用一轻质弹簧连接,弹簧处于原长。现 A 由静止释放下降到最低点,两轻杆间夹角 α 由60°变为120°。A、B、C 在同一竖直平面内运动,弹簧在弹性限度内,忽略一切摩擦,重力加速度为 g。则此下降过程中 ( )



A.A 的动能达到最大前,B 受到地面的支持力小于 $\frac{3}{2}mg$

B.A 的动能最大时,B 受到地面的支持力等于 $\frac{3}{2}mg$

C.弹簧的弹性势能最大时,A 的加速度方向竖直向下

D.弹簧的弹性势能最大值为 $\frac{\sqrt{3}}{2}mgL$

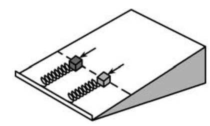
答案 AB 本题考查牛顿运动定律、能量守恒。

A 球初态 $v_0=0$,末态 $v=0$,因此 A 球在运动过程中先加速后减速,当速度最大时,动能最大,加速度为0,故 A 的动能达到最大前,A 具有向下的加速度,处于失重状态,由整体法可知在 A 的动能达到最大之前,B 受到地面的支持力小于 $\frac{3}{2}mg$,在 A 的动能最大时,B 受到地面的支持力等于 $\frac{3}{2}mg$,选项A、B正确;弹簧的弹性势能最大时,A 到达最低点,此时具有向上的加速度,选项C错误;由能量守恒,A 球重力所做功等于弹簧最大弹性势能,A 球下降高度 $h=L\cos30°-L\cos60°=\frac{\sqrt{3}-1}{2}L$,重力做功 $W=mgh=\frac{\sqrt{3}-1}{2}mgL$,选项D错误。

解题关键 本题的关键词:A 由静止释放——$v_0=0$;降到最低点——$v=0$。

物体做加速度减小的加速运动,当加速度减到0时,速度最大,动能最大,这是此题的关键。

5.(2014福建理综,18,6分)如图,两根相同的轻质弹簧,沿足够长的光滑斜面放置,下端固定在斜面底部挡板上,斜面固定不动。质量不同、形状相同的两物块分别置于两弹簧上端。现用外力作用在物块上,使两弹簧具有相同的压缩量;若撤去外力后,两物块由静止沿斜面向上弹出并离开弹簧,则从撤去外力到物块速度第一次减为零的过程,两物块 ( )



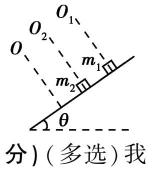
A.最大速度相同

B.最大加速度相同

C.上升的最大高度不同

D.重力势能的变化量不同

答案 C 图为物块能向上弹出且离开弹簧,则物块在刚撤去外力时加速度最大,由牛顿第二定律得:$kx-mg\sin\theta=ma$,即 $a=\frac{kx}{m}-g\sin\theta$,由于两物块 k、x、θ 均相同,m 不同,则 a 不同,B错误。当 $mg\sin\theta=kx_0$ 即 $x_0=\frac{mg\sin\theta}{k}$ 时,速度最大,如图,设两物块质量 $m_1<m_2$,其平衡位置分别为 O_1、O_2,初始位置为 O,则从 O 至 O_2 的过程中,由 $W_{弹}-W_G=E_k$ 及题意知,$W_{弹}$ 相同,$W_{G1}<W_{G2}$,故 $E_{k1}>E_{k2}$,即 $v_1>v_2$,而此时 m_2 的速度 v_2 已达最大,此后,m_1 的速度将继续增大直至最大,而 m_2 的速度将减小,故一定是质量小的最大速度大,A错误。从开始运动至最高点,由 $E_p=mgh$ 及题意知重力势能的变化量 $\Delta E_p=mgh$ 相同,m 不同,h 也不同,故C正确,D错误。



6.(2015浙江理综,18,6分)(多选)我国科学家正在研制航母舰载机使用的电磁弹射器。舰载机总质量为 3.0×10^4 kg,设起飞过程中发动机的推力恒为 1.0×10^5 N;弹射器有效作用长度为100 m,推力恒定。要求舰载机在水平弹射结束时速度大小达到80 m/s。弹射过程中舰载机所受总推力为弹射器和发动机推力之和,假设所受阻力为总推力的20%,则 ( )

A.弹射器的推力大小为 1.1×10^6 N

B.弹射器对舰载机所做的功为 1.1×10^8 J

C.弹射器对舰载机做功的平均功率为 8.8×10^7 W

D.舰载机在弹射过程中的加速度大小为 32 m/s²

答案　**ABD**　舰载机弹射过程中的加速度 $a=\dfrac{v^2}{2x}=\dfrac{80^2}{2\times100}$ m/s² = 32 m/s²，选项 D 正确；对舰载机在水平方向受力分析，根据牛顿第二定律得：$F_{弹}+F_{发}-20\%(F_{弹}+F_{发})=ma$，解得：$F_{弹}=1.1\times10^6$ N，选项 A 正确；由功的定义得：$W_{弹}=F_{弹}\cdot x=1.1\times10^8$ J，选项 B 正确；由速度公式得弹射器对舰载机的作用时间 $t=\dfrac{v}{a}=\dfrac{80}{32}$ s = 2.5 s，由功率的定义得：$P_{弹}=\dfrac{W_{弹}}{t}=4.4\times10^7$ W，选项 C 错。

7.（2015 北京理综，18，6 分）"蹦极"运动中，长弹性绳的一端固定，另一端绑在人身上，人从几十米高处跳下。将蹦极过程简化为人沿竖直方向的运动。从绳恰好伸直，到人第一次下降至最低点的过程中，下列分析正确的是　（　　）

A.绳对人的冲量始终向上，人的动量先增大后减小

B.绳对人的拉力始终做负功，人的动能一直减小

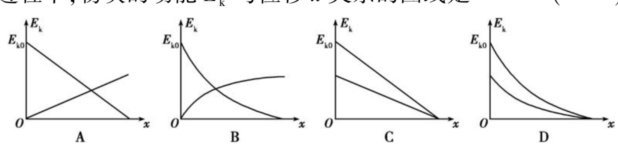
C.绳恰好伸直时，绳的弹性势能为零，人的动能最大

D.人在最低点时，绳对人的拉力等于人所受的重力

答案　**A**　从绳恰好伸直到人第一次下降至最低点的过程中，人经历了先加速后减速的过程，当绳对人的拉力等于人的重力时速度最大，动能最大，之后绳的拉力大于人的重力，人向下减速到达最低点。绳对人的拉力始终向上，始终做负功。拉力的冲量向上，人的动量先增大后减小。综上所述，只有 A 选项正确。

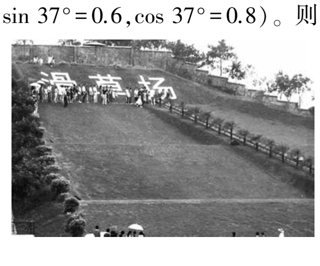
评析　分析好运动细节是解答本类问题的关键。

8.（2017 江苏单科，3，3 分）一小物块沿斜面向上滑动，然后滑回到原处。物块初动能为 E_{k0}，与斜面间的动摩擦因数不变，则该过程中，物块的动能 E_k 与位移 x 关系的图线是　（　　）



答案　**C**　本题考查动能定理和图像的应用。依据动能定理，上升过程中 $F_{升}=mg\sin\alpha+\mu mg\cos\alpha$ 大小恒定，下降过程中 $F_{降}=mg\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha$ 大小恒定。说明在 E_k-x 图像中，上升、下降阶段图线的斜率均恒定，图线均为直线，则选项 B、D 错误。物块能够返回，返回过程位移减小，而动能增加，则 A 项错误。因整个过程中摩擦力做负功，则 $E_{kt}<E_{k0}$，故选项 C 正确。

9.（2016 浙江理综，18，6 分）（多选）如图所示为一滑草场。某条滑道由上下两段高均为 h，与水平面倾角分别为 45°和 37°的滑道组成，滑草车与草地之间的动摩擦因数为 μ。质量为 m 的载人滑草车从坡顶由静止开始自由下滑，经过上、下两段滑道后，最后恰好静止于滑道的底端（不计滑草车在两段滑道交接处的能量损失，sin 37° = 0.6，cos 37° = 0.8）。则　（　　）



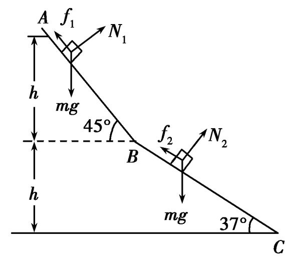
A.动摩擦因数 $\mu=\dfrac{6}{7}$

B.载人滑草车最大速度为 $\sqrt{\dfrac{2gh}{7}}$

C.载人滑草车克服摩擦力做功为 mgh

D.载人滑草车在下段滑道上的加速度大小为 $\dfrac{3}{5}g$

答案　**AB**　滑草车受力分析如图所示，在 B 点处有最大速度 v，在上、下两段所受摩擦力大小分别为 f_1、f_2



$f_1=\mu mg\cos45°$

$f_2=\mu mg\cos37°$

整个过程由动能定理列方程：

$$mg\cdot2h-f_1\cdot\frac{h}{\sin45°}-f_2\cdot\frac{h}{\sin37°}=0 \qquad ①$$

解得：$\mu=\dfrac{6}{7}$，A 项正确。

滑草车在上段滑道运动过程由动能定理列方程：

$$mgh-f_1\cdot\frac{h}{\sin45°}=\frac{1}{2}mv^2 \qquad ②$$

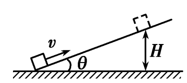
解得：$v=\sqrt{\dfrac{2gh}{7}}$，B 项正确。

由①式知：$W_f=2mgh$，C 项错误。

在下段滑道上，$mg\sin37°-\mu mg\cos37°=ma_2$

解得：$a_2=-\dfrac{3}{35}g$，故 D 项错误。

10.（2014 大纲全国，19，6 分）一物块沿倾角为 θ 的斜坡向上滑动。当物块的初速度为 v 时，上升的最大高度为 H，如图所示；当物块的初速度为 $\dfrac{v}{2}$ 时，上升的最大高度记为 h。重力加速度大小为 g。物块与斜坡间的动摩擦因数和 h 分别为　（　　）



A.$\tan\theta$ 和 $\dfrac{H}{2}$　　B.$\left(\dfrac{v^2}{2gH}-1\right)\tan\theta$ 和 $\dfrac{H}{2}$

C.$\tan\theta$ 和 $\dfrac{H}{4}$　　D.$\left(\dfrac{v^2}{2gH}-1\right)\tan\theta$ 和 $\dfrac{H}{4}$

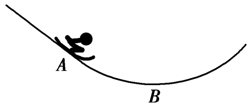
答案　**D**　由动能定理有

$$-mgH-\mu mg\cos\theta\frac{H}{\sin\theta}=0-\frac{1}{2}mv^2$$

$$-mgh-\mu mg\cos\theta\frac{h}{\sin\theta}=0-\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2$$

解得 $\mu=\left(\dfrac{v^2}{2gH}-1\right)\tan\theta$，$h=\dfrac{H}{4}$，故 D 正确。

11.（2018 天津理综，2，6 分）滑雪运动深受人民群众喜爱。某滑雪运动员（可视为质点）由坡道进入竖直面内的圆弧形滑道 AB，从滑道的 A 点滑行到最低点 B 的过程中，由于摩擦力的存在，运动员的速率不变，则运动员沿 AB 下滑过程中（　　）

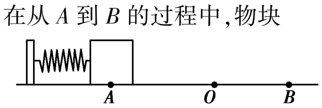


A.所受合外力始终为零
B.所受摩擦力大小不变
C.合外力做功一定为零
D.机械能始终保持不变

答案 C 本题考查匀速圆周运动中的受力分析、滑动摩擦力的决定因素、动能定理和功能关系。由于运动员在竖直面内的圆弧形滑道上运动时速率不变,故做匀速圆周运动,所受的合外力提供向心力,因此合外力不为零,选项 A 错误;滑动摩擦力 $f=\mu F_N$,F_N 随着下滑位置的不同由 A 到 B 逐渐变大,因此滑动摩擦力变大,选项 B 错误;由动能定理知,合外力做的功等于动能的变化量,因速率不变,则动能不变,故合外力做功为零,选项 C 正确;机械能的改变量等于摩擦力做的功,故机械能减少,选项 D 错误。

易错警示 运动员的速率不变,误认为匀速圆周运动的合外力为零,误选 A。

12.(2018 江苏单科,7,4 分)(多选)如图所示,轻质弹簧一端固定,另一端连接一小物块,O 点为弹簧在原长时物块的位置。物块由 A 点静止释放,沿粗糙程度相同的水平面向右运动,最远到达 B 点。在从 A 到 B 的过程中,物块 ( )



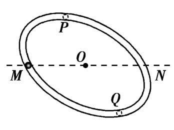
A.加速度先减小后增大
B.经过 O 点时的速度最大
C.所受弹簧弹力始终做正功
D.所受弹簧弹力做的功等于克服摩擦力做的功

答案 AD 本题考查牛顿第二定律的应用、动能定理。对物块受力分析,当弹簧处于压缩状态时,由牛顿第二定律可得 $kx-f=ma$,x 减小,a 减小,当 $a=0$ 时,物块速度最大,此时,物块在 O 点左侧,选项 B 错误;从加速度 $a=0$ 处到 O 点过程,由牛顿第二定律得 $f-kx=ma$,x 减小,a 增大,当弹簧处于伸长状态时,由牛顿第二定律可得 $kx+f=ma$,x 增大,a 继续增大,可知物块的加速度先减小后增大,选项 A 正确;物块所受弹簧的弹力对物块先做正功,后做负功,选项 C 错误;从 A 到 B 的过程,由动能定理可得 $W_弹-W_f=0$,选项 D 正确。

思路分析 物块运动状态的确定

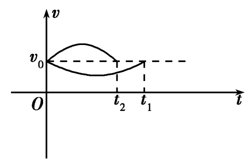
根据题设条件,对物块受力分析,并分阶段讨论物块的加速度和速度的变化情况。

13.(2014 安徽理综,15,6 分)如图所示,有一内壁光滑的闭合椭圆形管道,置于竖直平面内,MN 是通过椭圆中心 O 点的水平线。已知一小球从 M 点出发,初速率为 v_0,沿管道 MPN 运动,到 N 点的速率为 v_1,所需时间为 t_1;若该小球仍由 M 点以初速率 v_0 出发,而沿管道 MQN 运动,到 N 点的速率为 v_2,所需时间为 t_2。则 ( )



A.$v_1=v_2,t_1>t_2$　　B.$v_1<v_2,t_1>t_2$
C.$v_1=v_2,t_1<t_2$　　D.$v_1<v_2,t_1<t_2$

答案 A 管道内壁光滑,只有重力做功,机械能守恒,故 $v_1=v_2=v_0$;由 $v-t$ 图像定性分析如图,得 $t_1>t_2$。

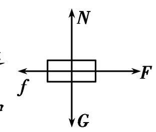


14.(2014 课标Ⅱ,16,6 分)一物体静止在粗糙水平地面上。现用一大小为 F_1 的水平拉力拉动物体,经过一段时间后其速度变为 v。若将水平拉力的大小改为 F_2,物体从静止开始经过同样的时间后速度变为 $2v$。对于上述两个过程,用 W_{F1}、W_{F2} 分别表示拉力 F_1、F_2 所做的功,W_{f1}、W_{f2} 分别表示前后两次克服摩擦力所做的功,则 ( )

A.$W_{F2}>4W_{F1},W_{f2}>2W_{f1}$　　B.$W_{F2}>4W_{F1},W_{f2}=2W_{f1}$
C.$W_{F2}<4W_{F1},W_{f2}=2W_{f1}$　　D.$W_{F2}<4W_{F1},W_{f2}<2W_{f1}$

答案 C $W_{F1}=\frac{1}{2}mv^2+\mu mg\cdot\frac{v}{2}t$,$W_{F2}=\frac{1}{2}m\cdot4v^2+\mu mg\frac{2v}{2}t$,故 $W_{F2}<4W_{F1}$;$W_{f1}=\mu mg\cdot\frac{v}{2}t$,$W_{f2}=\mu mg\cdot\frac{2v}{2}t$,故 $W_{f2}=2W_{f1}$,C 正确。

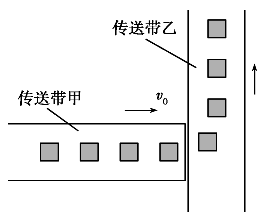
解题思路 对物体进行受力分析如图所示



因为两次物体都做初速度为零的匀加速直线运动,位移 $x=\bar{v}t=\frac{v}{2}t$。再结合功的公式和动能定理分析求解。

方法指导 熟练掌握动能定理及匀变速直线运动中有关平均速度的关系式 $x=\frac{v_1+v_2}{2}t$,是提高解题速度的有效方法,抓住题中时间相等是解题的关键。难度中等。

15.(2014 江苏单科,15,16 分)如图所示,生产车间有两个相互垂直且等高的水平传送带甲和乙,甲的速度为 v_0。小工件离开甲前与甲的速度相同,并平稳地传到乙上,工件与乙之间的动摩擦因数为 μ。乙的宽度足够大,重力加速度为 g。



(1)若乙的速度为 v_0,求工件在乙上侧向(垂直于乙的运动方向)滑过的距离 s;

(2)若乙的速度为 $2v_0$,求工件在乙上刚停止侧向滑动时的速度大小 v;

(3)保持乙的速度 $2v_0$ 不变,当工件在乙上刚停止滑动时,下一只工件恰好传到乙上,如此反复。若每个工件的质量均为 m,除工件与传送带之间摩擦外,其他能量损耗均不计,求驱动乙的电动机的平均输出功率 $\bar{P}$。

答案 (1)$\frac{\sqrt{2}v_0^2}{2\mu g}$ (2)$2v_0$ (3)$\frac{4\sqrt{5}\mu mgv_0}{5}$

解析 (1)摩擦力与侧向的夹角为 45°

侧向加速度大小 $a_x=\mu g\cos45°$

匀变速直线运动 $-2a_xs=0-v_0^2$

解得 $s=\frac{\sqrt{2}v_0^2}{2\mu g}$

(2)设 $t=0$ 时刻摩擦力与侧向的夹角为 θ,侧向、纵向加速度的大小分别为 a_x、a_y,则 $\frac{a_y}{a_x}=\tan\theta$

很小的 Δt 时间内,侧向、纵向的速度增量 $\Delta v_x=a_x\Delta t$, $\Delta v_y=a_y\Delta t$

解得$\frac{\Delta v_y}{\Delta v_x}=\tan\theta$

且由题意知 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}$

则$\frac{v_y'}{v_x'}=\frac{v_y-\Delta v_y}{v_x-\Delta v_x}=\tan\theta$

所以摩擦力方向保持不变

则当 $v_x'=0$ 时,$v_y'=0$,即 $v=2v_0$

(3)工件在乙上滑动时侧向位移为 x,沿乙速度方向的位移为 y,

由题意知 $a_x=\mu g\cos\theta$,$a_y=\mu g\sin\theta$

在侧向上 $-2a_xx=0-v_0^2$

在纵向上 $2a_yy=(2v_0)^2-0$

工件滑动时间 $t=\frac{2v_0}{a_y}$

乙前进的距离 $y_1=2v_0t$

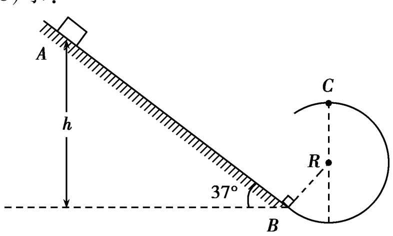
工件相对乙的位移 $L=\sqrt{x^2+(y_1-y)^2}$

则系统摩擦生热 $Q=\mu mgL$

电动机做功 $W=\frac{1}{2}m(2v_0)^2-\frac{1}{2}mv_0^2+Q$

由 $\overline{P}=\frac{W}{t}$,解得 $\overline{P}=\frac{4\sqrt{5}\mu mgv_0}{5}$

16.(2017 上海单科,19,14 分)如图,与水平面夹角 $\theta=37°$的斜面和半径 $R=0.4$ m 的光滑圆轨道相切于 B 点,且固定于竖直平面内。滑块从斜面上的 A 点由静止释放,经 B 点后沿圆轨道运动,通过最高点 C 时轨道对滑块的弹力为零。已知滑块与斜面间动摩擦因数 $\mu=0.25$。(g 取 10 m/s^2,$\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$)求:



(1)滑块在 C 点的速度大小 v_C;

(2)滑块在 B 点的速度大小 v_B;

(3)A、B 两点间的高度差 h。

答案　(1)2 m/s　(2)4.29 m/s　(3)1.38 m

解析　本题考查圆周运动、机械能守恒、动能定理。

(1)对 C 点:滑块竖直方向所受合力提供向心力

$mg=\frac{mv_C^2}{R}$　①

$v_C=\sqrt{gR}=2$ m/s

(2)对 $B\to C$ 过程:滑块机械能守恒

$\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_C^2+mgR(1+\cos 37°)$　②

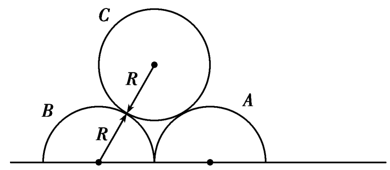
$v_B=\sqrt{v_C^2+2gR(1+\cos 37°)}=4.29$ m/s

(3)滑块在 $A\to B$ 的过程,利用动能定理:

$mgh-mg\mu\cos 37°\cdot\frac{h}{\sin 37°}=\frac{1}{2}mv_B^2-0$　③

代入数据解得 $h=1.38$ m

17.(2017 江苏单科,14,16 分)如图所示,两个半圆柱 A、B 紧靠着静置于水平地面上,其上有一光滑圆柱 C,三者半径均为 R。C 的质量为 m,A、B 的质量都为$\frac{m}{2}$,与地面间的动摩擦因数均为 μ。现用水平向右的力拉 A,使 A 缓慢移动,直至 C 恰好降到地面。整个过程中 B 保持静止。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度为 g。求:



(1)未拉 A 时,C 受到 B 作用力的大小 F;

(2)动摩擦因数的最小值 μ_{min};

(3)A 移动的整个过程中,拉力做的功 W。

答案　(1)$\frac{\sqrt{3}}{3}mg$

(2)$\frac{\sqrt{3}}{2}$

(3)$(2\mu-1)(\sqrt{3}-1)mgR$

解析　本题考查共点力作用下物体的平衡、力的分解、动能定理。

(1)C 受力平衡 $2F\cos 30°=mg$

解得 $F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$

(2)C 恰好降到地面时,B 受 C 压力的水平分力最大

$F_{xmax}=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

B 受地面的最大静摩擦力 $f=\mu mg$

根据题意 $f_{min}=F_{xmax}$

解得 $\mu_{min}=\frac{\sqrt{3}}{2}$

(3)C 下降的高度 $h=(\sqrt{3}-1)R$

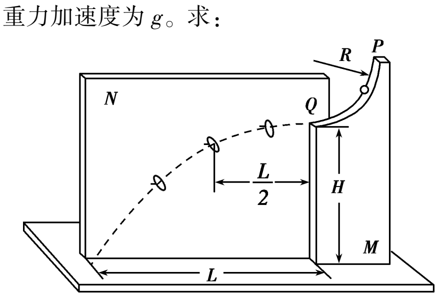
A 的位移 $x=2(\sqrt{3}-1)R$

摩擦力做功的大小 $W_f=fx=2(\sqrt{3}-1)\mu mgR$

根据动能定理 $W-W_f+mgh=0-0$

解得 $W=(2\mu-1)(\sqrt{3}-1)mgR$

18.(2015 重庆理综,8,16 分)同学们参照伽利略时期演示平抛运动的方法制作了如图所示的实验装置。图中水平放置的底板上竖直地固定有 M 板和 N 板。M 板上部有一半径为 R 的$\frac{1}{4}$圆弧形的粗糙轨道,P 为最高点,Q 为最低点,Q 点处的切线水平,距底板高为 H。N 板上固定有三个圆环。将质量为 m 的小球从 P 处静止释放,小球运动至 Q 飞出后无阻碍地通过各圆环中心,落到底板上距 Q 水平距离为 L 处。不考虑空气阻力,重力加速度为 g。求:



(1)距 Q 水平距离为$\frac{L}{2}$的圆环中心到底板的高度;

(2)小球运动到 Q 点时速度的大小以及对轨道压力的大小和方向;

(3)摩擦力对小球做的功。

答案 (1)$\frac{3}{4}H$

(2)$L\sqrt{\frac{g}{2H}}$ $mg\left(1+\frac{L^2}{2HR}\right)$ 方向竖直向下

(3)$mg\left(\frac{L^2}{4H}-R\right)$

解析 (1)设小球在 Q 点的速度为 v,则有:

$L=vt$

$H=\frac{1}{2}gt^2$

解得:$v=L\sqrt{\frac{g}{2H}}$

当 $x=\frac{L}{2}$ 时,有:$\frac{L}{2}=vt_1$

$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$

解得:$h_1=\frac{H}{4}$

则距 Q 水平距离为 $\frac{L}{2}$ 的圆环中心到底板的高度 $h=H-h_1=\frac{3}{4}H$。

(2)由(1)知小球运动到 Q 点时速度的大小 $v=L\sqrt{\frac{g}{2H}}$

在 Q 点,根据牛顿第二定律有:$F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$

解得:$F_N=mg\left(1+\frac{L^2}{2HR}\right)$

由牛顿第三定律可知,小球对轨道压力的大小 F_N' 与 F_N 相等,方向竖直向下。

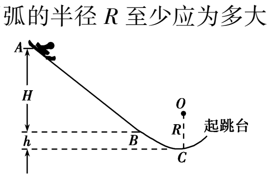
(3)从 P 到 Q,应用动能定理有:$mgR+W_f=\frac{1}{2}mv^2-0$

解得:$W_f=\frac{mgL^2}{4H}-mgR=mg\left(\frac{L^2}{4H}-R\right)$。

19.(2016 天津理综,10,16 分)我国将于 2022 年举办冬奥会,跳台滑雪是其中最具观赏性的项目之一。如图所示,质量 $m=60$ kg的运动员从长直助滑道 AB 的 A 处由静止开始以加速度 $a=3.6$ m/s^2 匀加速滑下,到达助滑道末端 B 时速度 $v_B=24$ m/s,A 与 B 的竖直高度差 $H=48$ m。为了改变运动员的运动方向,在助滑道与起跳台之间用一段弯曲滑道衔接,其中最低点 C 处附近是一段以 O 为圆心的圆弧。助滑道末端 B 与滑道最低点 C 的高度差 $h=5$ m,运动员在 B、C 间运动时阻力做功 $W=-1\ 530$ J,取 $g=10$ m/s^2。

(1)求运动员在 AB 段下滑时受到阻力 F_f 的大小;

(2)若运动员能够承受的最大压力为其所受重力的 6 倍,则 C 点所在圆弧的半径 R 至少应为多大。



答案 (1)144 N (2)12.5 m

解析 (1)运动员在 AB 上做初速度为零的匀加速运动,设 AB 的长度为 x,则有

$v_B^2=2ax$ ①

由牛顿第二定律有

$mg\frac{H}{x}-F_f=ma$ ②

联立①②式,代入数据解得

$F_f=144$ N ③

(2)设运动员到达 C 点时的速度为 v_C,在由 B 到达 C 的过程中,由动能定理有

$mgh+W=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$ ④

设运动员在 C 点所受的支持力为 F_N,由牛顿第二定律有

$F_N-mg=m\frac{v_C^2}{R}$ ⑤

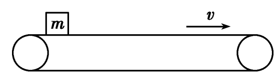
由运动员能够承受的最大压力为其所受重力的 6 倍,联立④⑤式,代入数据解得

$R=12.5$ m ⑥

审题指导 (1)运动员在 AB 上做匀加速直线运动,在求受到的阻力 F_f 时,可利用运动学公式和牛顿第二定律来解答。

(2)对运动员从 B 到 C 过程应用动能定理,求解 v_C。分析运动员在 C 点时哪些力提供向心力。

20.(2015 天津理综,10,16 分)某快递公司分拣邮件的水平传输装置示意如图,皮带在电动机的带动下保持 $v=1$ m/s的恒定速度向右运动,现将一质量为 $m=2$ kg 的邮件轻放在皮带上,邮件和皮带间的动摩擦因数 $\mu=0.5$。设皮带足够长,取$g=10$ m/s^2,在邮件与皮带发生相对滑动的过程中,求



(1)邮件滑动的时间 t;

(2)邮件对地的位移大小 x;

(3)邮件与皮带间的摩擦力对皮带做的功 W。

答案 (1)0.2 s (2)0.1 m (3)-2 J

解析 (1)设邮件放到皮带上与皮带发生相对滑动过程中受到的滑动摩擦力为 F,则

$F=\mu mg$ ①

取向右为正方向,对邮件应用动量定理,有

$Ft=mv-0$ ②

由①②式并代入数据得

$t=0.2$ s ③

(2)邮件与皮带发生相对滑动的过程中,对邮件应用动能定理,有

$Fx=\frac{1}{2}mv^2-0$ ④

由①④式并代入数据得

$x=0.1$ m ⑤

(3)邮件与皮带发生相对滑动的过程中,设皮带相对地面的位移为 s,则

$s=vt$ ⑥

摩擦力对皮带做的功

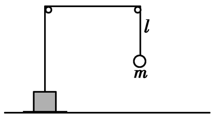
$W=-Fs$ ⑦

由①③⑥⑦式并代入数据得

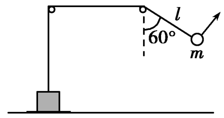
$W=-2$ J ⑧

21.(2015 山东理综,23,18 分)如图甲所示,物块与质量为 m 的小球通过不可伸长的轻质细绳跨过两等高定滑轮连接。物块置于左侧滑轮正下方的表面水平的压力传感装置上,小球与右侧滑轮的距离为 l。开始时物块和小球均静止,将此时传感

装置的示数记为初始值。现给小球施加一始终垂直于 l 段细绳的力,将小球缓慢拉起至细绳与竖直方向成 60°角,如图乙所示,此时传感装置的示数为初始值的 1.25 倍;再将小球由静止释放,当运动至最低位置时,传感装置的示数为初始值的 0.6 倍。不计滑轮的大小和摩擦,重力加速度的大小为 g。求:



图甲



图乙

(1)物块的质量;

(2)从释放到运动至最低位置的过程中,小球克服空气阻力所做的功。

答案　(1)$3m$　(2)$0.1mgl$

解析　(1)设开始时细绳的拉力大小为 T_1,传感装置的初始值为 F_1,物块质量为 M,由平衡条件得

对小球,$T_1=mg$　①

对物块,$F_1+T_1=Mg$　②

当细绳与竖直方向的夹角为 60°时,设细绳的拉力大小为 T_2,传感装置的示数为 F_2,据题意可知,$F_2=1.25F_1$,由平衡条件得

对小球,$T_2=mg\cos 60°$　③

对物块,$F_2+T_2=Mg$　④

联立①②③④式,代入数据得

$M=3m$　⑤

(2)设小球运动至最低位置时速度的大小为 v,从释放到运动至最低位置的过程中,小球克服阻力所做的功为 W_f,由动能定理得

$$mgl(1-\cos 60°)-W_f=\frac{1}{2}mv^2 \quad ⑥$$

在最低位置,设细绳的拉力大小为 T_3,传感装置的示数为 F_3,据题意可知,

$F_3=0.6F_1$,对小球,由牛顿第二定律得

$$T_3-mg=m\frac{v^2}{l} \quad ⑦$$

对物块,由平衡条件得

$F_3+T_3=Mg$　⑧

联立①②⑤⑥⑦⑧式,代入数据得

$W_f=0.1mgl$　⑨

22.(2017 课标Ⅰ,24,12 分)一质量为 8.00×10^4 kg 的太空飞船从其飞行轨道返回地面。飞船在离地面高度 1.60×10^5 m 处以 7.50×10^3 m/s 的速度进入大气层,逐渐减慢至速度为100 m/s 时下落到地面。取地面为重力势能零点,在飞船下落过程中,重力加速度可视为常量,大小取为 9.8 m/s²。(结果保留 2 位有效数字)

(1)分别求出该飞船着地前瞬间的机械能和它进入大气层时的机械能;

(2)求飞船从离地面高度 600 m 处至着地前瞬间的过程中克服阻力所做的功,已知飞船在该处的速度大小是其进入大气层时速度大小的 2.0%。

答案　(1)4.0×10^8 J　2.4×10^{12} J　(2)9.7×10^8 J

解析　本题考查机械能、功能关系。

(1)飞船着地前瞬间的机械能为

$$E_{k0}=\frac{1}{2}mv_0^2 \quad ①$$

式中,m 和 v_0 分别是飞船的质量和着地前瞬间的速率。由①式和题给数据得

$E_{k0}=4.0\times10^8$ J　②

设地面附近的重力加速度大小为 g。飞船进入大气层时的机械能为

$$E_h=\frac{1}{2}mv_h^2+mgh \quad ③$$

式中,v_h 是飞船在高度 1.60×10^5 m 处的速度大小。由③式和题给数据得

$E_h=2.4\times10^{12}$ J　④

(2)飞船在高度 $h'=600$ m 处的机械能为

$$E_{h'}=\frac{1}{2}m\left(\frac{2.0}{100}v_h\right)^2+mgh' \quad ⑤$$

由功能关系得

$W=E_{h'}-E_{k0}$　⑥

式中,W 是飞船从高度 600 m 处至着地前瞬间的过程中克服阻力所做的功。由②⑤⑥式和题给数据得

$W=9.7\times10^8$ J　⑦

思路点拨　本题第(1)问考查学生对机械能概念的理解能力和简单的推理能力。着地前瞬间飞船的重力势能为零,机械能等于飞船的动能。进入大气层时飞船的机械能等于其动能与重力势能之和。本题第(2)问考查学生对功能原理的理解能力。合力做功改变物体的动能,重力做功改变物体的重力势能,除飞船重力之外的力做功改变它的机械能。此问中克服阻力所做的功等于飞船机械能的改变。

23.(2018 天津理综,10,16 分)我国自行研制、具有完全自主知识产权的新一代大型喷气式客机 C919 首飞成功后,拉开了全面试验试飞的新征程。假设飞机在水平跑道上的滑跑是初速度为零的匀加速直线运动,当位移 $x=1.6\times10^3$ m 时才能达到起飞所要求的速度 $v=80$ m/s。已知飞机质量 $m=7.0\times10^4$ kg,滑跑时受到的阻力为自身重力的 0.1 倍,重力加速度取 $g=10$ m/s²。求飞机滑跑过程中

(1)加速度 a 的大小;

(2)牵引力的平均功率 P。



答案　(1)2 m/s²　(2)8.4×10^6 W

解析　(1)飞机滑跑过程中做初速度为零的匀加速直线运动,有

$v^2=2ax$　①

代入数据解得

$a=2$ m/s²　②

(2)设飞机滑跑受到的阻力为 $F_阻$,依题意有

$F_阻=0.1mg$　③

设发动机的牵引力为 F,根据牛顿第二定律有

$F-F_阻=ma$　④

设飞机滑跑过程中的平均速度为 $\bar{v}$,有

$$\bar{v}=\frac{v}{2} \quad ⑤$$

在滑跑阶段,牵引力的平均功率

$P=F\bar{v}$　⑥

联立②③④⑤⑥式得

$P=8.4\times10^6$ W　⑦

试题评析 本题考查匀变速直线运动的基本规律和牛顿运动定律的简单应用以及功率的计算等,属于基本知识的简单应用。难度为易。

24.(2015四川理综,9,15分)严重的雾霾天气,对国计民生已造成了严重的影响,汽车尾气是形成雾霾的重要污染源,"铁腕治污"已成为国家的工作重点。地铁列车可实现零排放,大力发展地铁,可以大大减少燃油公交车的使用,减少汽车尾气排放。

若一地铁列车从甲站由静止启动后做直线运动,先匀加速运动20 s达最高速度72 km/h,再匀速运动80 s,接着匀减速运动15 s到达乙站停住。设列车在匀加速运动阶段牵引力为1×10^6 N,匀速运动阶段牵引力的功率为6×10^3 kW,忽略匀减速运动阶段牵引力所做的功。



(1)求甲站到乙站的距离;

(2)如果燃油公交车运行中做的功与该列车从甲站到乙站牵引力做的功相同,求公交车排放气态污染物的质量。(燃油公交车每做1焦耳功排放气态污染物3×10^{-6}克)

答案 (1)1 950 m (2)2.04 kg

解析 (1)设列车匀加速直线运动阶段所用的时间为t_1,距离为s_1;在匀速直线运动阶段所用的时间为t_2,距离为s_2,速度为v;在匀减速直线运动阶段所用的时间为t_3,距离为s_3;甲站到乙站的距离为s。则

$s_1=\frac{1}{2}vt_1$ ①

$s_2=vt_2$ ②

$s_3=\frac{1}{2}vt_3$ ③

$s=s_1+s_2+s_3$ ④

联立①②③④式并代入数据得

$s=1\ 950$ m ⑤

(2)设列车在匀加速直线运动阶段的牵引力为F,所做的功为W_1;在匀速直线运动阶段的牵引力的功率为P,所做的功为W_2。设燃油公交车做与该列车从甲站到乙站相同的功W,将排放气态污染物质量为M。则

$W_1=F\cdot s_1$ ⑥

$W_2=P\cdot t_2$ ⑦

$W=W_1+W_2$ ⑧

$M=(3\times10^{-9}\ \text{kg}\cdot\text{J}^{-1})\cdot W$ ⑨

联立①⑥⑦⑧⑨式并代入数据得

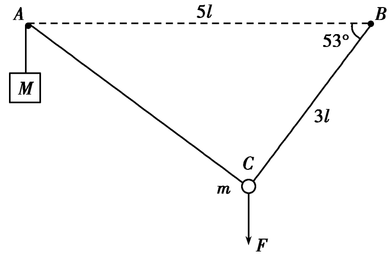
$M=2.04$ kg ⑩

25.(2018江苏单科,14,16分)如图所示,钉子A、B相距$5l$,处于同一高度。细线的一端系有质量为M的小物块,另一端绕过A固定于B。质量为m的小球固定在细线上C点,B、C间的线长为$3l$。用手竖直向下拉住小球,使小球和物块都静止,此时BC与水平方向的夹角为53°。松手后,小球运动到与A、B相同高度时的速度恰好为零,然后向下运动。忽略一切摩擦,重力加速度为g,取sin 53°=0.8,cos 53°=0.6。求:

(1)小球受到手的拉力大小F;

(2)物块和小球的质量之比$M:m$;

(3)小球向下运动到最低点时,物块M所受的拉力大小T。



答案 (1)$\frac{5}{3}Mg-mg$ (2)6∶5 (3)见解析

解析 本题考查共点力平衡、机械能守恒及牛顿运动定律的应用。

(1)设小球受AC、BC的拉力分别为F_1、F_2

$F_1\sin 53°=F_2\cos 53°$

$F+mg=F_1\cos 53°+F_2\sin 53°$

且$F_1=Mg$

解得$F=\frac{5}{3}Mg-mg$

(2)小球运动到与A、B相同高度过程中

小球上升高度$h_1=3l\sin 53°$,物块下降高度$h_2=2l$

由机械能守恒定律得$mgh_1=Mgh_2$

解得$\frac{M}{m}=\frac{6}{5}$

(3)根据机械能守恒定律,小球回到起始点。设此时AC方向的加速度大小为a,物块受到的拉力为T

由牛顿运动定律得$Mg-T=Ma$

小球受AC的拉力$T'=T$

由牛顿运动定律得$T'-mg\cos 53°=ma$

解得$T=\frac{8mMg}{5(m+M)}$($T=\frac{48}{55}mg$或$T=\frac{8}{11}Mg$)

思路点拨 常规思路,破解难题

(1)F可由共点力平衡条件列方程求解。

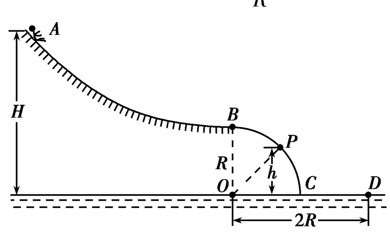
(2)放手后小球上升到最高点的过程中,系统机械能守恒,由此求解两物体质量之比。

(3)小球再次回到最低点时,物块和小球的速度为零,但加速度不为零,对物块和小球分别列牛顿第二定律方程,联立即可求得T。

26.(2014福建理综,21,19分)图为某游乐场内水上滑梯轨道示意图,整个轨道在同一竖直平面内,表面粗糙的AB段轨道与四分之一光滑圆弧轨道BC在B点水平相切。点A距水面的高度为H,圆弧轨道BC的半径为R,圆心O恰在水面。一质量为m的游客(视为质点)可从轨道AB的任意位置滑下,不计空气阻力。

(1)若游客从A点由静止开始滑下,到B点时沿切线方向滑离轨道落在水面D点,$OD=2R$,求游客滑到B点时的速度v_B大小及运动过程轨道摩擦力对其所做的功W_f;

(2)若游客从AB段某处滑下,恰好停在B点,又因受到微小扰动,继续沿圆弧轨道滑到P点后滑离轨道,求P点离水面的高度h。(提示:在圆周运动过程中任一点,质点所受的向心力与其速率的关系为$F_{向}=m\frac{v^2}{R}$)



答案　(1) $\sqrt{2gR}$　$-(mgH-2mgR)$　(2) $\frac{2}{3}R$

解析　(1)游客从 B 点做平抛运动,有

$2R=v_Bt$　①

$R=\frac{1}{2}gt^2$　②

由①②式得

$v_B=\sqrt{2gR}$　③

从 A 到 B,根据动能定理,有

$mg(H-R)+W_f=\frac{1}{2}mv_B^2-0$　④

由③④式得

$W_f=-(mgH-2mgR)$　⑤

(2)设 OP 与 OB 间夹角为 θ,游客在 P 点时的速度为 v_P,受到的支持力为 N,从 B 到 P 由机械能守恒定律,有

$mg(R-R\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_P^2-0$　⑥

过 P 点时,根据向心力公式,有

$mg\cos\theta-N=m\frac{v_P^2}{R}$　⑦

$N=0$　⑧

$\cos\theta=\frac{h}{R}$　⑨

由⑥⑦⑧⑨式解得

$h=\frac{2}{3}R$　⑩

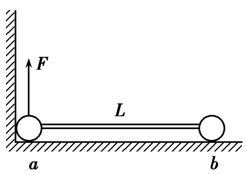
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 234

时间:40 分钟　分值:65 分

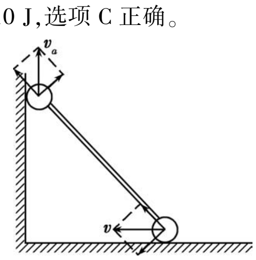
一、选择题(每小题 6 分,共 42 分)

1.(2018 全国名校联盟,15) 如图所示,两质量均为 $m=1$ kg 的小球 a、b(均可视为质点)用长为 $L=1$ m 的轻质杆相连,水平置于光滑水平面上,且小球 a 恰好与光滑竖直墙壁接触。现用力 F 竖直向上拉动小球 a,当杆与竖直墙壁夹角 $\theta=37°$时,小球 b 的速度大小 $v=1.6$ m/s。已知 $\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$,重力加速度 g 取 10 m/s^2,则此过程中力 F 所做的功为　(　　)

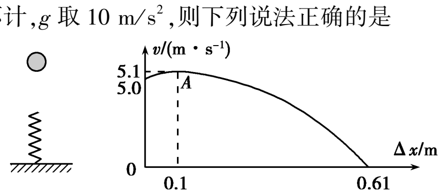


A.8 J　　B.8.72 J　　C.10 J　　D.9.28 J

答案　**C**　当小球 b 的速度为 1.6 m/s 时,设小球 a 的速度为 v_a,两球在沿杆方向的分速度相等,$v_a\cos 37°=v\sin 37°$,得 $v_a=1.2$ m/s,由动能定理有 $W_F-mgL\cos 37°=\frac{1}{2}mv_a^2+\frac{1}{2}mv^2$,得拉力做的功 $W_F=10$ J,选项 C 正确。



2.(2020 届甘肃兰州一中期中,17) 如图甲所示,轻弹簧竖直固定在水平面上,一质量为 $m=0.2$ kg 的小球,从弹簧上端某高度处自由下落,从它接触弹簧到弹簧压缩至最短的过程中(弹簧在弹性限度内),其速度 v 和弹簧压缩量 Δx 之间的函数图像如图乙所示,其中 A 为曲线的最高点,小球和弹簧接触瞬间机械能损失不计,g 取 10 m/s^2,则下列说法正确的是　(　　)



图甲　　图乙

A.小球刚接触弹簧时加速度最大

B.该弹簧的劲度系数为 20.0 N/m

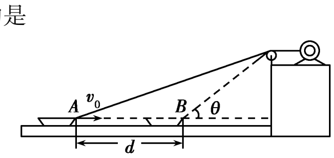
C.从接触弹簧到压缩至最短的过程中,弹簧的弹性势能先增大后减小

D.从接触弹簧到压缩至最短的过程中,小球的机械能守恒

答案　**B**　本题考查了弹簧模型中的平衡问题、牛顿第二定律和能量守恒。体现了科学思维中的科学推理和科学论证要素。

小球在平衡位置时速度最大,由图像可知,在弹簧压缩量 $\Delta x=0.1$ m 时速度最大,即小球处于平衡状态,故有 $mg=k\Delta x$,得弹簧的劲度系数 $k=20.0$ N/m,选项 B 正确;小球和弹簧接触后加速度先减小后增大,选项 A 错误;从接触弹簧到压缩至最短的过程中,弹簧一直被压缩,故弹簧的弹性势能一直增大,选项 C 错误;从接触弹簧到压缩至最短的过程中,小球始终受到弹簧向上的弹力作用,故小球的机械能一直在减少,选项 D 错误。

3.(2018 四川成都九校联考,4) (多选)如图,用跨过光滑定滑轮的缆绳将海面上一艘失去动力的小船沿直线拖向岸边。已知拖动缆绳的电动机功率恒为 P,小船的质量为 m,小船受到的阻力大小恒为 f,经过 A 点时的速度大小为 v_0,小船从 A 点沿直线加速运动到 B 点经历时间为 t,小船到 B 点时缆绳与水平方向的夹角为 θ,A、B 两点间距离为 d,缆绳质量忽略不计,则下列说法正确的是　(　　)



A.小船从 A 点运动到 B 点的全过程阻力做功为 fd

B.小船经过 B 点时的速度大小为 $\sqrt{v_0^2+\frac{2}{m}(Pt-fd)}$

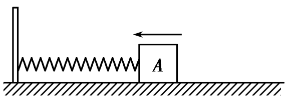
C.小船在 A 点时的加速度大小为 $\frac{P}{mv_0}-\frac{f}{m}$

D.小船在 B 点时的加速度大小为 $\frac{P}{\sqrt{m^2v_0^2+2m(Pt-fd)}}\cos\theta-\frac{f}{m}$

答案　**BC**　小船从 A 点运动到 B 点阻力做功 $W_f=-fd$,故选项 A 错误;小船从 A 点运动到 B 点,电动机牵引缆绳对小船做功 $W=Pt$,由动能定理有 $W+W_f=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $v_1=\sqrt{v_0^2+\frac{2}{m}(Pt-fd)}$,故选项 B 正确;小船在 A 点时,根据牛顿第二定律有:$\frac{P}{v_0}-f=ma$,得 $a=\frac{P}{mv_0}-\frac{f}{m}$,故选项 C 正确;设小船经过 B 点时缆绳对小船的拉力大小为 F,缆绳的速度大小为 u,

$P=Fu$,$u=v_1\cos\theta$,由牛顿第二定律有:$F\cos\theta-f=ma$,可得 $a=\dfrac{P}{\sqrt{m^2v_0^2+2m(Pt-fd)}}-\dfrac{f}{m}$,故选项 D 错误。

4.(2018 安徽皖南八校联考,7)在粗糙的水平面上固定一挡板,一质量不计的弹簧左端固定在挡板上,一可视为质点的质量为 m 的物块 A 放在弹簧的右端,初始时刻弹簧为原长,物块与弹簧未连接,现瞬间给物块一向左的初速度,使其将弹簧压缩,经过一段时间弹簧将物块弹开,在整个运动过程中弹簧的最大压缩量为 l。已知物块的初速度大小为 v_0、物块与水平面之间的动摩擦因数为 μ。则下列说法不正确的是 ( )



A.物块向右运动与弹簧分离前,物块的动能先增大后减小

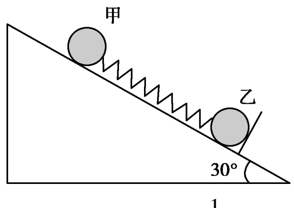
B.弹簧最短时,弹簧具有的弹性势能为 $\dfrac{1}{2}mv_0^2$

C.物块与弹簧分离前二者组成的系统机械能一直减小

D.当物块离开弹簧滑动到速度为零时,物块与出发点之间的距离为 $\dfrac{v_0^2}{2\mu g}-2l$

答案 B 物块向右运动过程中,速度先增大,动能增大,当弹簧弹力与摩擦力平衡时,物块的动能最大,随后其速度减小,动能减小,A 正确;由功能关系可知,物块向左运动的过程中,物块减小的动能一部分转化为弹簧的弹性势能,另一部分克服摩擦力做功,因此弹簧最短时,弹簧具有的弹性势能 $E_p=\dfrac{1}{2}mv_0^2-\mu mgl$,B 错误;对于物块与弹簧组成的系统,在整个过程中,滑动摩擦力做负功,因而系统的机械能一直减小,C 正确;设物块的速度为零时,物块与出发点之间的距离为 x,根据动能定理有 $-\mu mg(x+2l)=0-\dfrac{1}{2}mv_0^2$,解得 $x=\dfrac{v_0^2}{2\mu g}-2l$,D 正确。故选 B。

5.(2019 山西晋城一模,9)(多选)如图所示,光滑斜面的倾角为 30°,质量均为 0.1 kg 的甲、乙两球固定在弹簧两端,乙球紧靠固定在斜面上的挡板,系统处于静止状态。某时刻对甲球施加一个沿斜面向上的拉力,甲球沿斜面向上以 10 m/s² 的加速度做匀加速直线运动,已知弹簧的劲度系数为 1.5 N/m,重力加速度 $g=10$ m/s²,下列说法正确的是 ( )



A.乙球刚要离开挡板时,甲的位移为 $\dfrac{1}{3}$ m

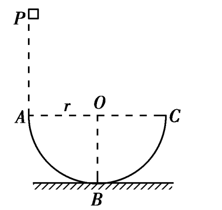
B.乙球刚要离开挡板时,甲球的动能大小为 $\dfrac{2}{3}$ J

C.从甲球刚开始运动到乙球刚要离开挡板的过程中,弹簧弹力对甲球所做总功为负

D.从甲球刚开始运动到乙球刚要离开挡板的过程中,系统机械能的增量为 1 J

答案 BD 不施加拉力时,对甲有 $kx_1=mg\sin 30°$,乙球刚要离开挡板时,对乙有 $kx_2=mg\sin 30°$,所以 $x_1=x_2=\dfrac{1}{3}$ m,则乙球刚要离开挡板时,甲的位移为 $x=x_1+x_2=\dfrac{2}{3}$ m,弹簧弹性势能相等,弹簧对甲球做的功为零,选项 A、C 错误;由运动学公式 $v^2=2a(x_1+x_2)$ 知,甲球的动能 $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{2}{3}$ J,选项 B 正确;对甲球,由动能定理有 $W-mg(x_1+x_2)\sin 30°=\dfrac{1}{2}mv^2$,$W=1$ J,选项 D 正确。

6.(2019 河南平顶山一模,21)(多选)如图所示,半径为 r 的半圆弧轨道 ABC 固定在竖直平面内,直径 AC 水平,一个质量为 m 的物块从圆弧轨道 A 点正上方 P 点静止释放,物块刚好从 A 点无碰撞地进入圆弧轨道并做匀速圆周运动,到 B 点时对轨道的压力大小等于物块重力的 2 倍,重力加速度为 g,不计空气阻力,不计物块的大小,则 ( )



A.物块到达 A 点时速度大小为 $\sqrt{2gr}$

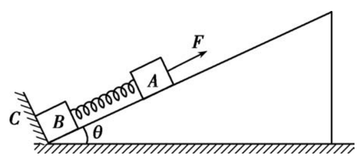
B.P、A 间的高度差为 $\dfrac{r}{2}$

C.物块从 A 运动到 B 所用时间为 $\dfrac{1}{2}\pi\sqrt{\dfrac{r}{g}}$

D.物块从 A 运动到 B 克服摩擦力做功为 mgr

答案 BCD 物块从 A 到 B 做匀速圆周运动,因此在 A 点的速度大小与在 B 点的速度大小相等,设速度大小为 v,在 B 点,$2mg-mg=m\dfrac{v^2}{r}$,求得 $v=\sqrt{gr}$,A 项错误;P、A 间的高度差为 $h=\dfrac{v^2}{2g}=\dfrac{r}{2}$,B 项正确;物块从 A 运动到 B 所用的时间 $t=\dfrac{\frac{1}{2}\pi r}{v}=\dfrac{1}{2}\pi\sqrt{\dfrac{r}{g}}$,C 项正确;根据动能定理可知,$mgr-W_f=0$,因此物块从 A 运动到 B 克服摩擦力做功为 $W_f=mgr$,D 项正确。

7.(2018 东北三校联考,8)(多选)质量分别为 m_1 和 m_2 的木块 A 和 B 之间用一轻质弹簧相连,然后将它们静置于一底端带有挡板的光滑斜面上,其中 B 置于斜面底端的挡板上。设斜面的倾角为 θ,弹簧的劲度系数为 k。现用一平行于斜面的恒力 F 拉木块 A 使 A 沿斜面由静止开始向上运动,当木块 B 恰好对挡板的压力为零时,木块 A 在斜面上运动的速度为 v,则下列说法正确的是 ( )



A.此时弹簧的弹力大小为 $m_1g\sin\theta$

B.拉力 F 在该过程中对木块 A 所做的功为 $F\dfrac{(m_1+m_2)g\sin\theta}{k}$

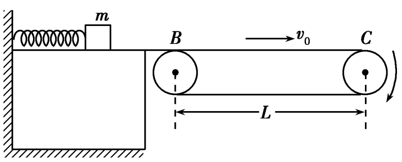
C.木块 A 在该过程中重力势能增加了 $m_1\dfrac{(m_1+m_2)g^2\sin^2\theta}{k}$

D.弹簧在该过程中弹性势能增加了 $F\dfrac{(m_1+m_2)g\sin\theta}{k}-\dfrac{1}{2}m_1v^2$

答案　BC　当木块 B 恰好对挡板的压力为零时，木块 B 受重力、支持力以及弹簧的弹力作用，则由力的平衡条件可知，弹簧的弹力大小为 $m_2g\sin\theta$，故 A 错误；木块 A 向上运动时有重力、拉力 F 和弹簧弹力对其做功，根据动能定理，弹力、重力和拉力 F 对木块 A 做的总功等于木块 A 动能的增加量，开始时木块 A 静止，弹簧压缩量 $x_1=\frac{m_1g\sin\theta}{k}$，当 B 对挡板的压力刚为零时，弹簧伸长量 $x_2=\frac{m_2g\sin\theta}{k}$，此过程中拉力 F 对木块 A 做的功为 $W_F=F(x_1+x_2)=F\frac{(m_1+m_2)g\sin\theta}{k}$；此过程中木块 A 重力势能的增加量 $\Delta E_p=m_1g\Delta h=m_1g(x_1+x_2)\sin\theta=m_1\frac{(m_1+m_2)g^2\sin^2\theta}{k}$，故 B、C 正确；根据功能关系，弹簧弹性势能的增加量等于拉力做的功减去系统动能和重力势能的增加量，即 $F\frac{(m_1+m_2)g\sin\theta}{k}-\frac{1}{2}m_1v^2-m_1\frac{(m_1+m_2)g^2\sin^2\theta}{k}$，故 D 错误。

二、非选择题(共 23 分)

8.(12 分)(2018 吉林长春外国语学校摸底，12)如图所示，质量为 m 的滑块放在光滑的水平平台上，平台右端 B 与水平传送带相接，传送带的运行速度为 v_0，长为 L。现将滑块缓慢水平向左移动压缩固定在平台上的轻弹簧，到达某处时突然释放，当滑块滑到传送带右端 C 时，恰好与传送带速度相同。滑块与传送带间的动摩擦因数为 μ。



(1)试分析滑块在传送带上的运动情况；

(2)若滑块离开弹簧时的速度大于传送带的速度，求释放滑块时弹簧具有的弹性势能；

(3)若滑块离开弹簧时的速度大于传送带的速度，求滑块在传送带上滑行的整个过程中产生的热量。

答案　(1)见解析　(2)$\frac{1}{2}mv_0^2+\mu mgL$

(3)$\mu mgL-mv_0(\sqrt{v_0^2+2\mu gL}-v_0)$

解析　(1)若滑块冲上传送带时的速度小于传送带的速度，则滑块由于受到向右的滑动摩擦力而做匀加速运动；若滑块冲上传送带时的速度大于传送带的速度，则滑块由于受到向左的滑动摩擦力而做匀减速运动。

(2)设滑块冲上传送带时的速度大小为 v，由机械能守恒定律得

$E_p=\frac{1}{2}mv^2$

滑块从 B 运动到 C 过程，由动能定理得

$-\mu mgL=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$

得 $E_p=\frac{1}{2}mv_0^2+\mu mgL$。

(3)设滑块在传送带上运动的时间为 t，则 t 时间内传送带的位移 $x=v_0t$

$v_0=v-at$

$a=\mu g$

由(2)得 $v=\sqrt{v_0^2+2\mu gL}$

滑块相对传送带滑动的位移

$\Delta x=L-x$

相对滑动产生的热量

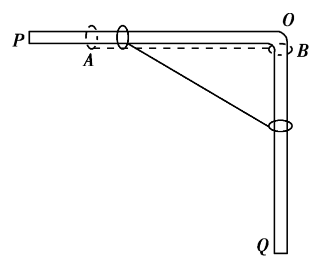
$Q=\mu mg\Delta x$

解得 $Q=\mu mgL-mv_0(\sqrt{v_0^2+2\mu gL}-v_0)$。

9.(11 分)(2019 江西盟校一联，24)如图所示，质量为 $2m$ 和 m 的两个弹性环 A、B 用不可伸长且长为 L 的轻绳连接，分别套在水平细杆 OP 和竖直细杆 OQ 上，OP 与 OQ 在 O 点用一小段圆弧杆平滑相连，且 OQ 足够长。初始时刻，将轻绳拉至水平位置伸直，然后释放两个小环，A 环通过小段圆弧杆时速度大小保持不变，重力加速度为 g，不计一切摩擦，试求：

(1)当 B 环下落 $\frac{L}{2}$ 时 A 环的速度大小；

(2)A 环到达 O 点后再经过多长时间能够追上 B 环。



答案　(1)$\frac{\sqrt{5gL}}{5}$　(2)$\sqrt{\frac{L}{g}}$

解析　(1)当 B 环下落 $\frac{L}{2}$ 时绳子与水平方向之间的夹角满足 $\sin\alpha=\frac{\frac{L}{2}}{L}=\frac{1}{2}$，即 $\alpha=30°$

由速度的合成与分解可知 $v_绳=v_A\cos30°=v_B\sin30°$

则 $v_B=\frac{v_A}{\tan30°}=\sqrt{3}v_A$

B 下降的过程中 A 与 B 组成的系统机械能守恒，有

$mg\frac{L}{2}=\frac{1}{2}\cdot2mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2$

所以 A 环的速度 $v_A=\frac{\sqrt{5gL}}{5}$

(2)由于 A 到达 O 点时 B 的速度等于 0，由机械能守恒，$\frac{1}{2}\cdot2mv_A'^2=mgL$，解得 $v_A'=\sqrt{gL}$

环 A 过 O 点后做初速度为 v_A'、加速度为 g 的匀加速直线运动，B 做自由落体运动

当 A 追上 B 时，有 $v_A't+\frac{1}{2}gt^2=L+\frac{1}{2}gt^2$

解得 $t=\sqrt{\frac{L}{g}}$

专题七 碰撞与动量守恒

探考情 悟真题

5年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 70

考点	考向	5 年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
动量、动量定理	动量、动量定理	2019 课标Ⅰ,16,6 分	4		模型建构	微元法	★★☆
		2019 北京理综,24,20 分	4	牛顿运动定律	模型建构	微元法	
		2018 课标Ⅰ,14,6 分	2	匀变速直线运动、动能	能量观念		
		2016 课标Ⅰ,35(2),10 分	4	能量守恒	模型建构	微元法	
		2018 北京理综,22,16 分	4	动能定理、牛顿运动定律	模型建构		
		2017 天津理综,4,6 分	3	机械能、功率、失重	运动与相互作用观念		
		2015 安徽理综,22,14 分	4	动能定理	运动与相互作用观念		
动量守恒定律及其应用	动量守恒定律及其应用	2018 课标Ⅱ,24,12 分	4	牛顿第二定律	运动与相互作用观念		★★★
		2017 课标Ⅰ,14,6 分	3		模型建构		
		2015 课标Ⅰ,35(2),10 分	4	机械能守恒	运动与相互作用观念		
动量和能量的综合	动量和能量的综合	2019 课标Ⅰ,25,20 分	4	能量守恒、$v-t$ 图像	科学推理		★★★
		2019 课标Ⅲ,25,20 分	4	牛顿运动定律	科学推理		
		2018 课标Ⅰ,24,12 分	4	机械能守恒	模型建构		
		2016 课标Ⅱ,35(2),10 分	4	机械能守恒	模型建构		
		2018 天津理综,9(1)	3	功能关系	运动与相互作用观念		
		2017 天津理综,10,16 分	4	机械能守恒	模型建构		
	碰撞	2016 课标Ⅲ,35(2),10 分	4	功能关系	模型建构		
		2015 广东理综,36,18 分	4	动能定理	模型建构		

分析解读

本专题内容为选修 3-5 的两个重要内容之一,在 2017 年新课标考纲中由选考内容改为必考内容,使力学体系更加完善。

本专题包含内容可视为牛顿力学的进一步拓展,但动量守恒定律是独立于牛顿运动定律之外的自然规律,这个规律为解决力学问题开辟了新的途径,故称为解决力学问题的“三把金钥匙”之一。

建议在复习中注意以下几个方面:一是动量定理在流体中的应用;二是区分动量守恒定律和机械能守恒定律的成立条件及应用;三是区分弹性碰撞和非弹性碰撞,要熟练掌握两种碰撞的基本规律,并能结合能量关系解决碰撞问题。

真题探秘

对应学生用书起始页码 71

（2019课标Ⅰ，25，20分）竖直面内一倾斜轨道与一足够长的水平轨道通过一小段光滑圆弧平滑连接，小物块B静止于水平轨道的最左端，如图(a)所示。$t=0$时刻，小物块A在倾斜轨道上从静止开始下滑，一段时间后与B发生弹性碰撞（碰撞时间极短）；当A返回到倾斜轨道上的P点（图中未标出）时，速度减为0，此时对其施加一外力，使其在倾斜轨道上保持静止。物块A运动的$v-t$图像如图(b)所示，图中的v_1和t_1均为未知量。已知A的质量为m，初始时A与B的高度差为H，重力加速度大小为g，不计空气阻力。

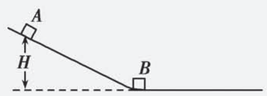
创设试题情景

给定第一个条件，A由静止下滑，到达斜面底端和B发生弹性碰撞，要根据动量、机械能守恒列方程

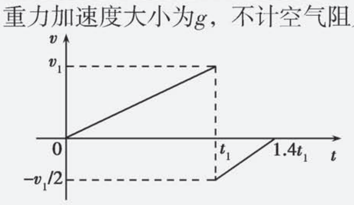
给定第二个条件，结合条件一运用动能定理列下滑和上滑的方程

给定第三个条件，由v-t图像的面积可以求出A下滑和上滑的位移关系

给定第四个条件，结合条件三可求出A上滑位移



图(a)



图(b)

（1）求物块B的质量；

（2）在图(b)所描述的整个运动过程中，求物块A克服摩擦力所做的功；

应用滑动摩擦力做功的特点——力和路程的乘积

（3）已知两物块与轨道间的动摩擦因数均相等。在物块B停止运动后，改变物块与轨道间的动摩擦因数，然后将A从P点释放，一段时间后A刚好能与B再次碰上。求改变前后动摩擦因数的比值。

给定物块A的最终状态——到达B停止位置处速度刚好减为零

❶ **核心要点**

一动一静的弹性碰撞、动能定理和滑动摩擦力做功。

❷ **思路分析**

根据两物体发生弹性碰撞，建立方程，确定物体的质量；将物体的运动情景和动能定理结合，可求全程滑动摩擦力做功和两次动摩擦因数之比。

❸ **素养目标**

考查了运动与相互作用观念、能量观念、模型建构和科学推理素养。

❹ **能力要求**

在实际情景中抽象物理模型的能力、灵活应用动量和能量守恒定律的能力、在综合性题目中数学运算的能力。

❺ **答案**

详细解析见144页5年高考B组第7题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 71

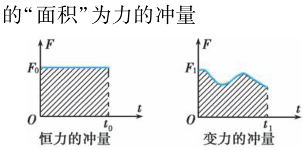
考点一　动量、动量定理

考向基础

一、冲量

定义	力与力的作用时间的乘积叫力的冲量
定义式	$I=Ft$
标矢性	力是矢量,冲量也是矢量
过程性	冲量是描述力对物体作用的时间积累效应的物理量,力越大,作用时间越长,冲量就越大
绝对性	由于力和时间都跟参考系的选择无关,因此冲量也跟参考系的选择无关;另外物体受某个力的冲量只取决于这个力及其作用时间,与物体的运动状态、是否受其他力无关
单位	牛顿·秒,简称牛·秒,符号 N·s

续表

备注	(1)冲量表达式 $I=Ft$ 只适用于计算恒力的冲量;计算变力的冲量一般用动量定理 (2)如图所示,在力 F 随时间 t 变化的 $F-t$ 图像中,图线与时间轴之间的"面积"为力的冲量  (3)合外力冲量的计算 a.如果物体受到的各个力作用的时间相同,且都为恒力,可用 $I_{合}=F_{合}\cdot t$ 计算 b.如果在物体运动的整个过程中不同阶段受力不同,则合冲量为各个阶段冲量的矢量和

二、动量

定义	物体的质量(m)跟其速度(v)的乘积(mv)叫做物体的动量,用符号 p 表示
定义式	$p=mv$
单位	千克·米/秒,符号 kg·m/s
标矢性	矢量,方向与速度方向相同
状态量	对应于某一时刻或某一位置
相对性	与参考系有关,通常取地面为参考系
引入意义	(1)为了描述力作用一段时间后对物体产生的效果 (2)为了揭示相互作用的物体系统,在作用过程中遵守的规律

三、冲量、动量与动量变化量

物理量 项目	冲量	动量	动量变化量
定义	力和力的作用时间的乘积叫做力的冲量	质量与速度的乘积叫做动量	末状态动量与初状态动量的矢量差
公式	$I=F\cdot t$	$p=m\cdot v$	$\Delta p=mv_{末}-mv_{初}$
单位	牛顿·秒 (N·s)	千克·米/秒 (kg·m/s)	千克·米/秒 (kg·m/s)
标矢性	矢量,与 F 同方向	矢量,与 v 同方向	矢量,用平行四边形定则确定方向
性质	过程量,对力而言	状态量,对物体而言	过程量,对物体而言

四、冲量和功的比较

物理量 项目	冲量	功
定义	力和力的作用时间的乘积	作用在物体上的力和物体在力的方向上位移的乘积
公式	$I=Ft$	$W=Fs\cos\theta$
单位	牛顿·秒(N·s)	焦耳(J)
标矢性	矢量	标量
意义	(1)表示力在时间上的积累效果 (2)是动量变化的量度	(1)表示力在空间上的积累效果 (2)是能量变化多少的量度
相同点	都是过程量,都与力的作用过程相联系	

五、动量与动能

物理量 项目	动量	动能
表达式	$p=mv$	$E_k=\frac{1}{2}mv^2$
物理意义	描述机械运动的状态	描述某个状态由于机械运动而具有的能量
性质	状态量,矢量	状态量,标量
关联方程	$p=\sqrt{2mE_k}$,$p=\frac{2E_k}{v}$	$E_k=\frac{p^2}{2m}$,$E_k=\frac{1}{2}pv$

考向突破

考向 动量、动量定理

1.对动量定理的理解

(1)动量定理的表达式 $Ft=\Delta p$ 是矢量式,运用它分析问题时要特别注意冲量、动量及动量变化量的方向,公式中的 F 是物体或系统所受的合力。

(2)动量定理不仅适用于恒定的力,也适用于随时间变化的力,这种情况下,动量定理中的力 F 应理解为变力在作用时间内的平均值。

(3)应用动量定理解释两类物理现象

①当物体的动量变化量一定时,力的作用时间 t 越短,力 F 就越大,力的作用时间 t 越长,力 F 就越小,如玻璃杯掉在水泥地上易碎,而掉在沙地上不易碎。

②当作用力 F 一定时,力的作用时间 t 越长,动量变化量 Δp 越大,力的作用时间 t 越短,动量变化量 Δp 越小。

2.应用动量定理解题的一般步骤

(1)明确研究对象和研究过程。

研究过程既可以是全过程,也可以是全过程中的某一阶段。

(2)进行受力分析。

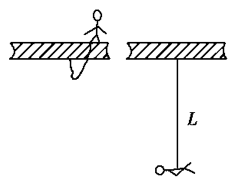
只分析研究对象以外的物体施加给研究对象的力,不必分析内力。

(3)规定正方向。

(4)写出研究对象的初、末动量和合外力的冲量(或各外力在各个阶段的冲量的矢量和),根据动量定理列方程求解。

例 一高空作业的工人重为 600 N,系一条长为 $L=5$ m 的安全带,若工人不慎跌落时安全带的缓冲时间 $t=1$ s,则安全带受的冲力是多少?(g 取 10 m/s^2)

解析 **解法一(程序法)** 依题意作图,如图所示,设工人刚要拉紧安全带时的速度为 v_1,$v_1^2=2gL$,得 $v_1=\sqrt{2gL}$



经缓冲时间 $t=1$ s 后速度变为 0,取向下为正方向,工人受两个力作用,即拉力 F 和重力 mg,对工人由动量定理得,$(mg-F)t=0-mv_1$,$F=\frac{mgt+mv_1}{t}$

将数值代入得 $F=1\ 200$ N。

由牛顿第三定律知安全带受的冲力 F' 为 1 200 N,方向竖直向下。

解法二(全过程法) 在整个下落过程中对工人应用动量定理。在整个下落过程中,重力的冲量大小为 $mg\left(\sqrt{\frac{2L}{g}}+t\right)$,拉力 F 的冲量大小为 Ft。初、末动量都是零,取向下为正方向,由动量定理得

$$mg\left(\sqrt{\frac{2L}{g}}+t\right)-Ft=0$$

解得 $F=\frac{mg\left(\sqrt{\frac{2L}{g}}+t\right)}{t}=1\ 200$ N。

由牛顿第三定律知安全带受的冲力 $F'=F=1\ 200$ N,方向竖直向下。

答案 1 200 N

考点二　动量守恒定律及其应用

考向基础

一、动量守恒定律

三个概念	系统	相互作用的若干个物体看成一个系统,即系统至少由两个物体组成
三个概念	内力	系统内部各物体之间的相互作用力叫做内力
三个概念	外力	系统外部物体对系统的作用力叫做外力
动量守恒定律	内容	如果一个系统不受外力,或者所受外力的矢量和为零,则这个系统的总动量保持不变。这就是动量守恒定律
动量守恒定律	表达式	(1)$p=p'$ (2)一维两物体时: $m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$ $m_1v_1'-m_1v_1=-(m_2v_2'-m_2v_2)$
动量守恒定律	对象	两个及两个以上物体组成的系统
动量守恒定律	条件	(1)不受外力,动量守恒 (2)外力矢量和为零,动量守恒 (3)外力远小于内力,动量近似守恒 (4)某方向上外力矢量和为零,该方向上动量守恒
动量守恒定律	备注	(1)动量守恒指的是总动量在相互作用的过程中时刻守恒,而不是只有始、末状态才守恒。实际列方程时,可在这守恒的无数个状态中选择两个状态来列方程 (2)系统的动量守恒,个体的动量不守恒,因为相互作用后物体的速度发生了变化,动量在系统内的物体间发生了转移

二、动量守恒定律的"四性"

系统性	(1)动量守恒定律成立的条件是系统不受外力或所受外力的矢量和为零,因此,应用动量守恒定律解决问题时,要注意分析系统受到哪些外力,是否满足动量守恒的条件 (2)系统的动量守恒时,系统内某一物体的动量可以不守恒,系统内所有物体动量的绝对值之和也可以不守恒,"动量守恒"是指系统内所有物体动量的矢量和是守恒的
矢量性	(1)动量守恒定律的表达式是矢量式 (2)该式说明系统的总动量在相互作用前、后不仅大小相等,方向也相同 (3)处理一条直线上的动量守恒问题时,要选定一个正方向,用正、负号表示动量的方向,从而将矢量运算转化为代数运算
同一性	动量守恒定律中的各个速度必须相对同一参考系(一般是相对地面)
同时性	动量是状态量,动量守恒定律是指系统任意时刻总动量保持不变,因此系统内物体(一维两物体时)相互作用前的总动量 $m_1v_1+m_2v_2$ 中的 v_1、v_2 必须是相互作用前同一时刻的瞬时速度;相互作用后的总动量 $m_1v_1'+m_2v_2'$中的 v_1'、v_2'必须是相互作用后同一时刻的瞬时速度

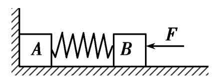
考向突破

考向　动量守恒定律及其应用

动量守恒定律与机械能守恒定律的比较

	动量守恒定律	机械能守恒定律
内容	一个系统不受外力作用或者所受外力的矢量和为零,这个系统的总动量保持不变	在只有重力或系统内弹力做功的物体系统内,动能与势能可以相互转化,而总的机械能保持不变
表达式	①$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$,两个物体组成的系统相互作用前、后动量保持不变 ②$\Delta p_1=-\Delta p_2$,相互作用的两个物体动量变化量大小相等,方向相反 ③$\Delta p=0$,系统动量增量为零	①$E_k+E_p=E_k'+E_p'$(系统初态的机械能等于系统末态的机械能) ②$\Delta E_k=-\Delta E_p$(系统动能的增加量等于系统势能的减少量) ③$\Delta E_{A增}=\Delta E_{B减}$($A$、$B$ 组成的系统,A 的机械能的增加量等于 B 的机械能的减少量)
守恒条件	①系统不受外力或所受外力的矢量和为零。要正确区分内力和外力 ②系统受外力,外力的合力不为零,但当内力远大于外力时也可以认为动量守恒。这时是一种近似守恒,但仍可用动量守恒定律进行计算 ③系统所受的合外力虽不为零,如果在某一方向上合外力为零,那么在该方向上系统的动量守恒	①只有重力或系统内弹力作用,没有其他力作用 ②有重力、系统内弹力以外的力作用,但这些力不做功 ③有重力、系统内弹力以外的力做功,但这些力做功的代数和为零
研究对象	相互作用的物体系统	相互作用的物体系统(包括地球)
守恒性质	矢量守恒(规定正方向)	标量守恒(不考虑方向性)
适用范围	宏观、微观,低速、高速都适用	只适用于宏观、低速领域
注意	两个守恒定律都是动态过程的守恒,即在系统内部物理过程中的任一时刻、任一阶段内系统的总动量或总机械能都不变,因此在解决问题时,不必详尽追究中间过程系统内相互作用的细节,主要抓住始、末状态	

例　如图所示,在水平光滑地面上有 A、B 两个木块,A、B 之间用一轻弹簧连接。A 靠在墙壁上,用力 F 向左推 B 使两木块之间弹簧压缩并处于静止状态。若突然撤去力 F,则下列说法中正确的是　(　　)



A.木块 A 离开墙壁前,A、B 和弹簧组成的系统动量守恒,机械能也守恒

B.木块 A 离开墙壁前,A、B 和弹簧组成的系统动量不守恒,但机械能守恒

C.木块 A 离开墙壁后,A、B 和弹簧组成的系统动量守恒,机械能也守恒

D.木块 A 离开墙壁后,A、B 和弹簧组成的系统动量不守恒,但机械能守恒

解析　撤去 F 后,木块 A 离开墙壁前,竖直方向两木块及弹簧组成的系统所受的重力与支持力平衡,合力为零;而水平方向墙对 A 有向右的弹力,所以系统所受的合外力不为零,系统的

动量不守恒,但系统的机械能守恒,故A错误,B正确。A离开墙壁后,系统水平方向不受外力,竖直方向外力平衡,所以系统所受的合外力为零,系统的动量守恒,因弹簧弹力属于系统内力,则系统机械能也守恒,故C正确、D错误。

答案 BC

考点三 动量和能量的综合

考向基础

一、碰撞

特点	时间	过程持续时间即相互作用时间极短	
	作用力	在相互作用的过程中,相互作用力先是急剧增大,然后再急剧减小,平均作用力很大	
	动量守恒条件	系统的内力远远大于外力,所以,系统即使所受外力矢量和不为零,外力也可以忽略,系统的总动量守恒	
	位移	碰撞过程是在一瞬间发生的,时间极短,所以,在物体发生碰撞的瞬间,可忽略物体的位移,可以认为物体在碰撞前、后仍在同一位置	
	能量	在碰撞过程中,一般伴随着机械能的损失,碰撞后系统的总动能要小于或等于碰撞前系统的总动能,即 $E_{k1}'+E_{k2}'\leqslant E_{k1}+E_{k2}$	
分类	按能量是否守恒分类	弹性碰撞	动量守恒,机械能无损失
		非弹性碰撞	动量守恒,机械能有损失
		完全非弹性碰撞	动量守恒,机械能损失最大
	按碰撞前、后动量是否共线分类	对心碰撞(正碰)	碰撞前、后速度共线
		非对心碰撞(斜碰)	碰撞前、后速度不共线

二、爆炸

概念	一个物体由于内力的巨大作用而分为两个或两个以上物体的过程叫做爆炸	
特点	动量守恒	由于爆炸是在极短的时间内完成的,爆炸时物体间的相互作用力远远大于受到的外力,所以在爆炸过程中,系统的动量守恒
	动能增加	在爆炸过程中,由于有其他形式的能量(如化学能)转化为动能,所以爆炸后系统的总动能增加
	位置不变	爆炸的时间极短,因而在作用过程中,物体的位移很小,一般可忽略不计,可以认为爆炸后仍然从爆炸前的位置以新的动量开始运动

三、反冲

概念	根据动量守恒定律,如果一个静止的物体在内力的作用下分裂为两个部分,一部分向某个方向运动,另一部分必然向相反的方向运动。这个现象叫做反冲
反冲原理	反冲运动的基本原理仍然是动量守恒定律。当系统所受的外力矢量和为零或外力远远小于内力时,系统的总动量守恒。这时,如果系统的一部分获得了某一方向的动量,系统的剩余部分就会在这一方向的相反方向上获得同样大小的动量
应用	反冲运动有利也有害,有利的一面我们可以应用,比如农田、园林的喷灌装置,喷气式飞机,火箭等。反冲运动不利的一面则需要尽力去排除,比如开枪或开炮时反冲运动对射击准确性的影响等

四、研究动力学问题三大观点的比较

	力的观点	能量观点		动量观点	
规律	力的瞬时效应	力的空间积累效应		力的时间积累效应	
	牛顿第二定律	动能定理	机械能守恒定律	动量定理	动量守恒定律
规律内容	物体的加速度跟所受的合外力成正比,跟物体的质量成反比	合外力对物体做的功,等于物体动能的变化量	在只有重力或弹力做功的物体系统内,动能与势能可以相互转化,而总的机械能保持不变	物体所受合外力的冲量等于物体动量的变化量	一个系统不受外力或所受外力的矢量和为零,这个系统的总动量保持不变
规律表达式	$F_合=ma$	$W_总=\Delta E_k$	$E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$	$I_合=m\Delta v$	$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$
研究对象	单个物体或物体系、某一时刻	单个物体、一段位移	物体系、一个过程	单个物体或物体系、一段时间	物体系、一个过程
受力分析特点	分析每个外力的大小方向,求出合力	分析一段位移上每个力做功情况后确定合外力做的总功	分析是否只有重力或系统内弹力做功	分析一段时间内各外力的大小、方向,求外力的合冲量	分析系统所受外力矢量和是否为零
注意	应用三大观点解决问题时,都必须做好受力分析和过程分析,这是解决力学问题的前提。用力的观点解题侧重于分析物体的受力情况求合力;用能量的观点解题侧重于分析力的做功情况;用动量的观点解题侧重于分析合外力是否为零				

考向突破

考向一 动量和能量的综合

1.爆炸过程的特征

(1)动能增加:在爆炸过程中,由于有其他形式的能量转化为动能,所以爆炸后系统的总动能增加。

(2)位置不变:爆炸的时间极短,因而在作用过程中,物体产生的位移很小,一般可忽略不计,可以认为爆炸后仍然从作用前的位置以新的动量开始运动。

(3)由于内力≫外力,故爆炸过程动量守恒。

2.反冲过程的特征

反冲运动过程中,有其他形式的能转化为动能,系统的总动能将增加,其增加的原因是:在反冲运动中,作用力和反作用力均做正功。

反冲运动过程中,系统在某一方向不受外力或外力远小于物体间的相互作用力,可应用动量守恒定律分析。

3.平均动量守恒问题(人船模型)

(1)该类问题的特点 { ①两个物体 ②动量守恒 ③总动量为零

(2)方程

$m_1\bar{v}_1-m_2\bar{v}_2=0$($\bar{v}_1$、$\bar{v}_2$ 为速度平均大小)

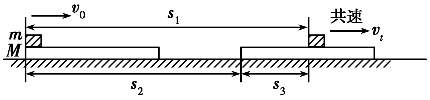
(3)结论

$m_1s_1=m_2s_2$(s_1、s_2 为位移大小)

4."三 s"问题

如图,质量为 m 的滑块以速度 v_0 滑上放于光滑水平地面上

的质量为 M 的长木板上。长木板上表面粗糙,滑块与长木板间的动摩擦因数为 μ,长木板足够长。



满足以下关系:

$f=\mu mg$

$mv_0=(m+M)v_t$

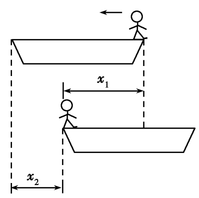
$-fs_1=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

$fs_2=\frac{1}{2}Mv_t^2$

$fs_3=f(s_1-s_2)=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v_t^2=Q$

例 1　长为 L、质量为 M 的小船停在静水中,一个质量为 m 的人立在船头,若不计水的黏滞阻力,当人从船头走到船尾的过程中,船和人对地面的位移各是多少?

解析　选人和船组成的系统为研究对象,因系统在水平方向不受力,所以动量守恒,人未走时系统的总动量为零。当人起步加速前进时,船同时加速后退;当人匀速前进时,船匀速后退;当人减速前进时,船减速后退;当人速度为零时,船速度也为零。设某时刻人对地的速率为 v_1,船对地的速率为 v_2,根据动量守恒得 $mv_1-Mv_2=0$　①



因为在人从船头走到船尾的整个过程中时刻满足动量守恒,结合①式分析可得,$mx_1-Mx_2=0$　②

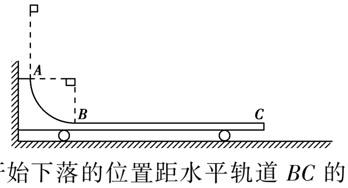
②式为人对地的位移和船对地的位移关系。由图还可看出:

$x_1+x_2=L$　③

联立②③两式得 $\begin{cases}x_1=\frac{M}{M+m}L\\x_2=\frac{m}{M+m}L\end{cases}$

答案　见解析

例 2　如图所示,水平光滑地面上停放着一辆小车,左侧靠在竖直墙壁上,小车的四分之一圆轨道 AB 是光滑的,在最低点 B 与水平轨道 BC 相切,BC 的长度是圆弧半径的 10 倍,整个轨道处于同一竖直平面内。可视为质点的物块从 A 点正上方某处无初速下落,恰好落入小车圆弧轨道滑动,然后沿水平轨道滑行至轨道末端 C 处恰好没有滑出。已知物块到达圆弧轨道最低点 B 时对轨道的压力是物块重力的 9 倍,小车的质量是物块质量的 3 倍,不考虑空气阻力和物块落入圆弧轨道时的能量损失。求:



(1)物块开始下落的位置距水平轨道 BC 的竖直高度是圆弧半径的几倍;

(2)物块与水平轨道 BC 间的动摩擦因数 μ。

解析　(1)设物块的质量为 m,其开始下落的位置距水平轨道 BC 的竖直高度为 h,到达 B 点时的速度为 v_1,圆弧轨道半径为 R

由机械能守恒定律有 $mgh=\frac{1}{2}mv_1^2$

由牛顿第二定律有 $9mg-mg=\frac{mv_1^2}{R}$

解得:$h=4R$

(2)设物块与 BC 间的滑动摩擦力的大小为 f,物块滑到 C 点时与小车的共同速度为 v_2,物块在小车上由 B 运动到 C 的过程中小车相对地面的位移大小为 s

依题意,小车的质量为 $3m$,BC 的长度为 $10R$

摩擦力 $f=\mu mg$

由动量守恒定律得:$mv_1=(m+3m)v_2$

对物块、小车分别应用动能定理有

物块:$-f(10R+s)=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

小车:$fs=\frac{1}{2}\times3mv_2^2-0$

解得:$\mu=0.3$

答案　(1)4 倍　(2)0.3

考向二　碰撞

1.弹性碰撞:碰撞结束后,形变全部消失,动能没有损失,不仅动量守恒,而且初、末总动能相等。

$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2$

$v_1'=\frac{(m_1-m_2)v_1+2m_2v_2}{m_1+m_2}$

$v_2'=\frac{(m_2-m_1)v_2+2m_1v_1}{m_1+m_2}$

若 $v_2=0$,即为"一动一静"的弹性碰撞,碰后二者速度分别为

$v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1$

$v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1$

如果 $m_1=m_2$,则 $v_1'=0$,$v_2'=v_1$,二者速度互换。

如果 $m_1<m_2$ 则 $v_1'<0$,m_1 被反弹。

如果 $m_1\gg m_2$,则 $v_1'\approx v_1$,速度几乎不变,$v_2'\approx 2v_1$。

2.非弹性碰撞:碰撞结束后,形变部分消失,动能有部分损失。

$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2+\Delta E_{k损}$

3.完全非弹性碰撞:碰撞结束后,以同一速度运动,形变完全保留,动能损失最大。

$m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v$

$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2+\Delta E_{k损max}$

温馨提示　碰撞遵守的原则

(1)动量守恒。

(2)机械能不增加,即碰撞结束后总动能不增加,表达式为 $E_{k1}+E_{k2}\geqslant E_{k1}'+E_{k2}'$ 或 $\frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2}\geqslant\frac{p_1'^2}{2m_1}+\frac{p_2'^2}{2m_2}$。

(3)速度要合理

①碰后若同向运动,原来在前的物体速度一定增大,且 $v_前\geqslant v_后$。

②两物体相向运动,碰后两物体的运动方向肯定有一个改变或速度均为零。

例 3　(2018 河南鹤壁段考,5,4 分)甲、乙两球在水平光滑轨道上向同方向运动,已知它们的动量分别是 $p_1=5$ kg·m/s,$p_2=7$ kg·m/s,甲从后面追上乙并发生碰撞,碰后乙球的动量变为 10 kg·m/s,则两球质量 m_1 与 m_2 间的关系可能是　(　　)

A.$m_1=m_2$　　B.$2m_1=m_2$

C.$4m_1=m_2$　　D.$6m_1=m_2$

解析　甲、乙两球在碰撞过程中动量守恒,所以有 $p_1+p_2=p_1'+p_2'$,得 $p_1'=2$ kg·m/s。由于在碰撞过程中,不可能有其他形式的能量转化为机械能,系统的机械能不会增加,故有$\frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2}\geqslant\frac{p_1'^2}{2m_1}+\frac{p_2'^2}{2m_2}$,得 $m_1\leqslant\frac{21}{51}m_2$。因为题目给出的物理情景是"甲从后面追上乙",要符合这一物理情景,就必须有$\frac{p_1}{m_1}>\frac{p_2}{m_2}$,可得 $m_1<\frac{5}{7}m_2$;同时还要符合碰撞后乙球的速度必须大于或等于甲球的速度这一物理情景,即$\frac{p_1'}{m_1}\leqslant\frac{p_2'}{m_2}$,可得 $m_1\geqslant\frac{1}{5}m_2$。综上可知,C 正确,A、B、D 错误。

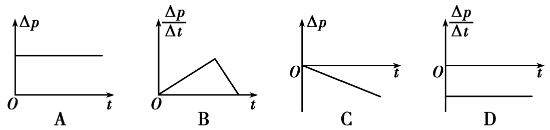
答案　C

考点集训

对应学生用书起始页码 77

考点一　动量、动量定理

1.(2018 山西师大附中月考,5)(多选)以下四个图描述的是竖直上抛物体的动量增量随时间变化的图线和动量变化率随时间变化的图线。若不计空气阻力,取竖直向上为正方向,那么正确的是　(　　)



答案　CD　根据动量定理可得 $\Delta p=-mgt$,选项 A 错误,选项 C 正确;物体的动量变化率$\frac{\Delta p}{\Delta t}=-mg$,选项 B 错误,选项 D 正确。

2.(多选)在 2016 年里约奥运跳水比赛中,中国跳水梦之队由吴敏霞领衔包揽全部 8 枚金牌。假设质量为 m 的跳水运动员从跳台上以初速度 v_0 向上跳起,跳水运动员从跳台上起跳到入水前重心下降 H,入水后受水阻力而速度减为零,不计跳水运动员水平方向的运动,运动员入水后到速度为零时重心下降 h,不计空气阻力,重力加速度 g,则　(　　)

A.运动员从跳台上起跳到入水前受到合外力冲量大小 $m\sqrt{v_0^2+2gH}+mv_0$

B.水对运动员阻力的冲量大小 $m\sqrt{v_0^2+2gH}$

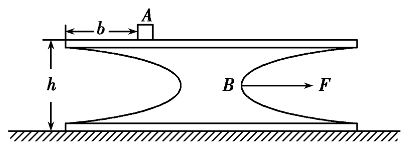
C.运动员克服水的阻力做功 $mgH+\frac{1}{2}mv_0^2$

D.运动员从跳起到入水后速度减为零的过程中机械能减少量 $mg(H+h)+\frac{1}{2}mv_0^2$

答案　AD　本题考查机械能守恒定律、动量定理和功能关系,体现了科学思维中科学推理、科学论证要素。

设入水前运动员的速度大小为 v,运动员在空中运动的过程中机械能守恒,则 $mgH+\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv^2$,所以 $v=\sqrt{v_0^2+2gH}$,取向下为正方向,由动量定理得,运动员起跳后在空中运动过程受到合外力冲量大小为 $I=\Delta p=m\sqrt{v_0^2+2gH}-(-mv_0)=m\sqrt{v_0^2+2gH}+mv_0$,A 正确;运动员在水中运动的过程中受到重力和水的阻力,则 $I_G-I_水=0-m\sqrt{v_0^2+2gH}$,所以水对运动员阻力的冲量大小大于 $m\sqrt{v_0^2+2gH}$,B 错误;运动员从起跳到入水后速度减为零的过程中,运动员克服水的阻力做功等于机械能减少量,大小为 $\Delta E=\left|-mgh-\left(mgH+\frac{1}{2}mv_0^2\right)\right|=mg(H+h)+\frac{1}{2}mv_0^2$,C 错误,D 正确。

3.(2018 云南师大附中月考,25)如图所示,一高 $h=1.25$ m、质量 $m_B=2$ kg 的木块 B,在一水平向右的恒力 $F=3$ N 作用下,在水平地面上向右运动。现将一质量 $m_A=1$ kg(可视为质点)的小滑块 A 轻轻静置(相对地面的速度为零)于木块 B 上距 B 左端 $b=1.00$ m 处,一段时间后 A 从 B 上滑落,从放上 A 到 A 刚离开 B 的时间内,B 向右运动的距离 $x_0=1.5$ m,已知 A 与 B 间的动摩擦因数、B 与水平地面间的动摩擦因数均为 $\mu=0.10$,$g=10\ \mathrm{m/s^2}$(结果均保留 2 位有效数字)。求



(1)整个过程中,A 与 B 间由于摩擦产生的热量 Q;

(2)A 落地时,落地点到 B 左端的水平距离 s。

答案　(1)1.0 J　(2)0.19 m

解析　(1)由能量关系得:$Q=f_Ab$　①

$f_A=\mu m_Ag$　②

解得 $Q=\mu m_Agb=1.0$ J　③

(2)由于 $F=3\ \mathrm{N}=\mu(m_A+m_B)g$,故 A、B 组成的系统动量守恒,则 $m_Bv_0=m_Av_A+m_Bv_B$　④

由动能定理得:

对 A:$\mu m_Agx_A=\frac{1}{2}m_Av_A^2$　⑤

对 B:$-\mu m_Agx_0=\frac{1}{2}m_Bv_B^2-\frac{1}{2}m_Bv_0^2$　⑥

$x_A=x_0-b$　⑦

联立⑤⑦式解得:A 刚离开 B 时,A 的速度 $v_A=1$ m/s　⑧

联立④⑥⑧式解得:A 刚离开 B 时,B 的速度 $v_B=1.25$ m/s　⑨

A 离开 B 后做平抛运动,则:

$h=\frac{1}{2}gt^2$　⑩

$x_A'=v_At$　⑪

解得:$x_A'=0.5$ m　⑫

由动量定理得:$(F-\mu m_Bg)t=m_Bv_B'-m_Bv_B$　⑬

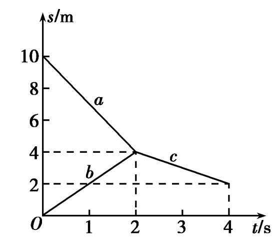
解得:$v_B'=1.5$ m/s　⑭

$x_B'=\frac{v_B+v_B'}{2}t=0.687\ 5$ m　⑮

$s=x_B'-x_A'=0.187\ 5\ \mathrm{m}\approx0.19$ m　⑯

考点二　动量守恒定律及其应用

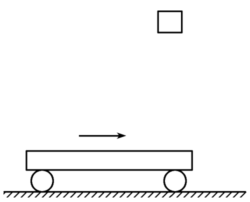
1.(多选)A、B 两球沿一直线运动并发生正碰,如图所示为两球碰撞前后的位移时间图像。a、b 分别为 A、B 两球碰前的位移-时间图线,c 为碰撞后两球共同运动的位移-时间图线,若 A 球质量 $m=2$ kg,则由图像判断下列结论正确的是　(　　)



A.A、B 碰撞前的总动量为 3 kg · m/s
B.碰撞过程 A 对 B 所施冲量为−4 N · s
C.碰撞前、后 A 的动量变化为 4 kg · m/s
D.碰撞中 A、B 两球组成的系统损失的动能为 10 J

答案　**BCD**　由 $s-t$ 图像可知,碰撞前有:$v_A=\frac{s_A}{t_A}=\frac{4-10}{2}$ m/s $=-3$ m/s,$v_B=\frac{s_B}{t_B}=\frac{4}{2}$ m/s $=2$ m/s,碰撞后有:$v_A'=v_B'=v=\frac{s_{AB}}{t_{AB}}=\frac{2-4}{4-2}$ m/s $=-1$ m/s;A、B 两球沿同一直线运动并发生正碰,碰撞前、后两球均做匀速直线运动,A、B 组成的系统动量守恒。碰撞前、后 A 的动量变化为:$\Delta p_A=mv_A'-mv_A=2\times(-1)$ kg · m/s$-2\times(-3)$ kg · m/s$=4$ kg · m/s,根据动量守恒定律有,碰撞前、后 B 的动量变化为:$\Delta p_B=-\Delta p_A=-4$ kg · m/s,又 $\Delta p_B=m_B(v_B'-v_B)$,所以 $m_B=\frac{\Delta p_B}{v_B'-v_B}=\frac{-4}{-1-2}$ kg $=\frac{4}{3}$ kg,所以 A 与 B 碰撞前的总动量为:$p_{总}=mv_A+m_Bv_B=2\times(-3)$ kg · m/s$+\frac{4}{3}\times2$ kg · m/s$=-\frac{10}{3}$ kg · m/s;由动量定理可知,碰撞过程 A 对 B 所施冲量为:$I_B=\Delta p_B=-4$ kg · m/s$=-4$ N · s。碰撞中 A、B 两球组成的系统损失的动能:$\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2-\frac{1}{2}(m+m_B)v^2$,代入数据解得:$\Delta E_k=10$ J。故 A 错误,B、C、D 正确。

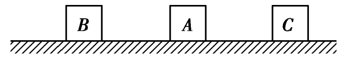
2.如图所示,质量为 2 kg 的小车以 2.5 m/s 的速度沿光滑的水平面向右运动,现在小车上表面上方 1.25 m 高度处将一质量为 0.5 kg 的可视为质点的物块由静止释放,经过一段时间物块落在小车上,最终两者一起水平向右匀速运动。重力加速度为 $g=10$ m/s^2,忽略空气阻力,下列说法正确的是　(　　)



A.物块释放 0.3 s 后落到小车上
B.若只增大物块的释放高度,物块与小车的共同速度变小
C.物块与小车相互作用的过程中,物块和小车的动量守恒
D.物块与小车相互作用的过程中,系统损失的能量为 7.5 J

答案　**D**　物块下落的时间为 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times1.25}{10}}$ s $=0.5$ s,选项 A 错误;物块与小车相互作用的过程中,物块与小车组成的系统在水平方向的动量守恒,在竖直方向的动量不守恒,由水平方向动量守恒 $Mv_0=(M+m)v$ 知,释放高度变大,水平方向的共同速度不变,选项 B、C 错误;在整个过程中,由能量守恒定律得系统损失的机械能 $\Delta E=mgh+[\frac{1}{2}Mv_0^2-\frac{1}{2}(M+m)v^2]$,代入数据可得 $\Delta E=7.5$ J,选项 D 正确。

3.[2015 课标Ⅰ,35(2),10 分]如图,在足够长的光滑水平面上,物体 A、B、C 位于同一直线上,A 位于 B、C 之间。A 的质量为 m,B、C 的质量都为 M,三者均处于静止状态。现使 A 以某一速度向右运动,求 m 和 M 之间应满足什么条件,才能使 A 只与 B、C 各发生一次碰撞。设物体间的碰撞都是弹性的。



答案　$(\sqrt{5}-2)M\leqslant m<M$

解析　A 向右运动与 C 发生第一次碰撞,碰撞过程中,系统的动量守恒、机械能守恒。设速度方向向右为正,开始时 A 的速度为 v_0,第一次碰撞后 C 的速度为 v_{C1},A 的速度为 v_{A1}。由动量守恒定律和机械能守恒定律得

$$mv_0=mv_{A1}+Mv_{C1}\quad①$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_{A1}^2+\frac{1}{2}Mv_{C1}^2\quad②$$

联立①②式得

$$v_{A1}=\frac{m-M}{m+M}v_0\quad③$$

$$v_{C1}=\frac{2m}{m+M}v_0\quad④$$

如果 $m>M$,第一次碰撞后,A 与 C 速度同向,且 A 的速度小于 C 的速度,不可能与 B 发生碰撞;如果 $m=M$,第一次碰撞后,A 停止,C 以 A 碰前的速度向右运动,A 不可能与 B 发生碰撞;所以只需考虑 $m<M$ 的情况。

第一次碰撞后,A 反向运动与 B 发生碰撞。设与 B 发生碰撞后,A 的速度为 v_{A2},B 的速度为 v_{B1},同样有

$$v_{A2}=\frac{m-M}{m+M}v_{A1}=\left(\frac{m-M}{m+M}\right)^2v_0\quad⑤$$

根据题意,要求 A 只与 B、C 各发生一次碰撞,应有

$$v_{A2}\leqslant v_{C1}\quad⑥$$

联立④⑤⑥式得

$$m^2+4mM-M^2\geqslant0\quad⑦$$

解得

$$m\geqslant(\sqrt{5}-2)M\quad⑧$$

另一解 $m\leqslant-(\sqrt{5}+2)M$ 舍去。所以,m 和 M 应满足的条件为

$$(\sqrt{5}-2)M\leqslant m<M\quad⑨$$

(①②式各 2 分,③④⑤⑥⑧⑨式各 1 分。)

解题关键　①因水平面光滑,且物体间的碰撞都是弹性的,则碰撞时,动量和机械能都守恒,因要求 A 只与 B、C 各发生一次碰撞,则解题时注意速度的大小和方向。

评析　考查考生的理解能力、分析综合能力以及应用数学工具的能力。综合性强,是今后的命题热点。

考点三　动量和能量的综合

1.(2018 河南八市第一次测评,13)质量为 $M=4$ kg 的长木板 A 静止放在光滑水平地面上,质量为 $m_1=4$ kg 的物块 B 位于木板 A 的左端,质量为 $m_2=4$ kg 的物块 C 位于木板 A 的右端,物块 B 与木板 A 间的动摩擦因数为 $\mu=0.5$,C 物块下表面光滑。某时刻,使物块 B 以速度 $v_1=2$ m/s 从左向右运动,同时使物块 C 以速度 $v_2=2$ m/s 从右向左运动,已知当 A、B 速度相等时,B、C 发生碰撞,碰后粘在一起运动,重力加速度为 $g=10$ m/s^2,B、C 均看做质点,则:

(1)木板 A 的最大速度为多少?

(2)A、B 间摩擦产生的热量为多少?

答案　(1)1 m/s　(2)7 J

解析　(1)B、C 碰撞前,A 做加速运动;B、C 碰撞后,A 做减速运动,故 A、B 速度相等时,A 的速度最大。对 A、B 系统,由

动量守恒定律有：$m_1v_1=(m+M)v$

解得 $v=1\ m/s$

(2)B、C 碰撞过程动量守恒：$m_1v-m_2v_2=(m_1+m_2)v'$

解得 $v'=-0.5\ m/s$(负号表示方向向左)

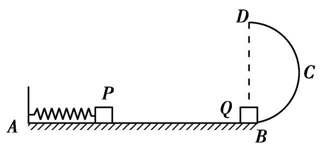
碰撞过程中能量损失为：$\Delta E_1=\frac{1}{2}m_1v^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2-\frac{1}{2}(m_1+m_2)v'^2=9\ J$

设 A、B、C 相对静止时的速度为 v''，则有：$m_1v_1-m_2v_2=(M+m_1+m_2)v''$

解得 $v''=0$

A、B 间摩擦产生的热量：$Q=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2-\Delta E_1=7\ J$

2.(2020届青海西宁三校联考,14)一轻质弹簧水平放置，一端固定在 A 点，另一端与质量为 m 的小物块 P 接触但不连接。AB 是水平轨道，质量也为 m 的小物块 Q 静止在 B 点，B 端与半径为 R 的光滑半圆轨道 BCD 相切，半圆的直径 BD 竖直，如图所示。物块 P 与 AB 间的动摩擦因数 $\mu=0.5$。初始时 PB 间距为 $4R$，弹簧处于压缩状态。释放 P，P 开始运动，脱离弹簧后在 B 点与 Q 碰撞后粘在一起沿轨道运动，恰能经过最高点 D，已知重力加速度 g，求：



(1)粘合体在 B 点的速度大小；

(2)初始时弹簧的弹性势能。

答案 (1)$\sqrt{5gR}$ (2)$12mgR$

解析 本题考查了牛顿第二定律、机械能守恒定律和动量守恒定律，体现了科学思维中的科学推理、科学论证要素。

(1)恰好能够到达 D 点时，由重力提供向心力，由牛顿第二定律有：

$$2mg=2m\frac{v_D^2}{R}$$

解得：$v_D=\sqrt{gR}$

从 B 到 D，由机械能守恒定律得：

$$4mgR+\frac{1}{2}\times 2mv_D^2=\frac{1}{2}\times 2mv_B^2$$

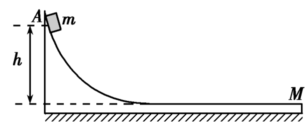
解得：$v_B=\sqrt{5gR}$。

(2)P 与 Q 碰撞的过程时间短，水平方向的动量守恒，选取向右为正方向，设碰撞前 P 的速度为 v，则：$mv=2mv_B$

P 从开始释放到到达 B 的过程中，弹簧的弹力对 P 做正功，摩擦力对 P 做负功，由功能关系得：$E_p-4\mu mgR=\frac{1}{2}mv^2$

联立解得：$E_p=12mgR$。

3.(2020届陕西西安中学期中,16)如图所示，在光滑水平地面上放置质量 $M=2\ kg$ 的长木板，木板上表面与固定的竖直弧形轨道相切。一质量 $m=1\ kg$ 的小滑块自 A 点沿弧面由静止滑下，A 点距离长木板上表面高度 $h=0.6\ m$。滑块在木板上滑行 $t=1\ s$ 后，和木板以共同速度 $v=1\ m/s$ 匀速运动，取 $g=10\ m/s^2$。求：



(1)滑块与木板间的摩擦力大小。

(2)滑块沿弧面下滑过程中克服摩擦力做的功。

(3)滑块相对木板滑行的距离。

答案 (1)2 N (2)1.5 J (3)1.5 m

解析 本题考查了牛顿运动定律、动量守恒定律和能量守恒定律，体现了运动与相互作用观念、能量观念。

(1)根据匀变速直线运动的速度时间公式得，

木板的加速度 $a=\frac{v}{t}=1\ m/s^2$。

根据牛顿第二定律得，滑块与木板间的摩擦力 $f=Ma=2\ N$。

(2)根据动量守恒定律得，$mv_0=(M+m)v$

解得 $v_0=\frac{(M+m)v}{m}=\frac{3\times 1}{1}\ m/s=3\ m/s$

根据动能定理得，$mgh-W_f=\frac{1}{2}mv_0^2-0$

代入数据解得 $W_f=1.5\ J$。

(3)根据能量守恒定律得，$f\Delta x=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2$

解得 $\Delta x=1.5\ m$。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧

对应学生用书起始页码 79

方法1 有关连续体冲击力的解题方法

这是一类变质量问题，对这类问题的处理，一般要选取一小段时间内通过的流体(或一小段长度的流体)为研究对象，然后表示出所选研究对象的质量，分析它的受力及动量的变化，由动量定理列方程求解。

例1 2005年8月29日清晨，飓风“卡特里娜”在美国路易斯安那州东南沿海登陆，飓风带来的巨浪和洪水使新奥尔良全城瘫痪。假设“卡特里娜”飓风以 $v=250\ km/h$ 的速度推进，空气的密度 $\rho=1.3\ kg/m^3$，防浪墙高 $h=111\ m$，总长 $l=560\ km$，飓风遇到防浪墙后速度变为零，且设海水全部流走，只考虑飓风对防浪墙的作用，由此可估算出飓风对防浪墙的冲击力 F 为 ( )

A.2.8×10^{10} N　　B.5.1×10^{12} N

C.3.9×10^{11} N　　D.2.0×10^{10} N

解析 设一小段时间 Δt 内与防浪墙作用的空气的质量为 Δm，且作用后速度变为零，设防浪墙对空气作用力的大小为 F'，且为正方向，据动量定理有 $F'\cdot\Delta t=0-\Delta m(-v)$，而 $\Delta m=\rho Sv\cdot\Delta t=\rho lhv\Delta t$，则 $F'=\rho lhv^2$，由牛顿第三定律知空气对防浪墙(即飓风对防浪墙)的作用力大小 $F=F'=\rho lhv^2=3.9\times10^{11}$ N，选项C正确。

答案 C

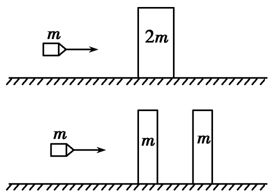
方法2 两个典型模型的处理方法

1.“子弹打木块”类模型的处理方法

这类模型中，通常由于“子弹”和“木块”的相互作用时间极短，内力≫外力，可认为在这一过程中动量守恒。“木块”对“子弹”的阻力乘以“子弹”的位移为“子弹”损失的动能，阻力乘以“木块”的位移等于“木块”获得的动能，阻力乘以相对位移等于系统损失的机械能。

例 2　装甲车和战舰采用多层钢板比采用同样质量的单层钢板更能抵御穿甲弹的射击。通过对以下简化模型的计算可以粗略说明其原因。

质量为 $2m$、厚度为 $2d$ 的钢板静止在水平光滑桌面上。质量为 m 的子弹以某一速度垂直射向该钢板,刚好能将钢板射穿。现把钢板分成厚度均为 d、质量均为 m 的相同两块,间隔一段距离平行放置,如图所示。若子弹以相同的速度垂直射向第一块钢板,穿出后再射向第二块钢板,求子弹射入第二块钢板的深度。设子弹在钢板中受到的阻力为恒力,且两块钢板不会发生碰撞。不计重力影响。



解析　设子弹初速度为 v_0,射入厚度为 $2d$ 的钢板后,最终钢板和子弹的共同速度为 V。由动量守恒得

$(2m+m)V=mv_0$　①

解得 $V=\frac{1}{3}v_0$

此过程中动能损失为

$\Delta E=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}\times3mV^2$　②

解得 $\Delta E=\frac{1}{3}mv_0^2$

分成两块钢板后,设子弹穿过第一块钢板时两者的速度分别为 v_1 和 V_1,由动量守恒得

$mv_1+mV_1=mv_0$　③

因为子弹在钢板中受到的阻力为恒力,射穿第一块钢板的动能损失为 $\frac{\Delta E}{2}$,由能量守恒得

$\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mV_1^2=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{\Delta E}{2}$　④

联立①②③④式,且考虑到 v_1 必须大于 V_1,得

$v_1=\left(\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{6}\right)v_0$　⑤

设子弹射入第二块钢板并留在其中后两者的共同速度为 V_2,由动量守恒得

$2mV_2=mv_1$　⑥

损失的动能为

$\Delta E'=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}\times2mV_2^2$　⑦

解得 $\Delta E'=\frac{1}{2}\left(1+\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\times\frac{\Delta E}{2}$　⑧

因为子弹在钢板中受到的阻力为恒力,由⑧式可得,射入第二块钢板的深度 x 为

$x=\frac{1}{2}\left(1+\frac{\sqrt{3}}{2}\right)d$　⑨

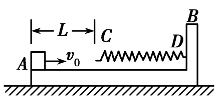
答案　见解析

点评　“子弹打木块”类模型中,子弹所受阻力和子弹相对木块的位移(相对位移)的乘积,等于子弹动能转化成的内能,这是这类模型的显著特点。

2.弹簧类模型的处理方法

对两个(或两个以上)物体与弹簧组成的系统,在能量方面,由于发生弹性形变的弹簧会具有弹性势能,系统的总动能将发生变化。若系统除重力和系统内弹力以外的力不做功,系统机械能守恒。若还有其他外力做功,这些力做功之和等于系统机械能改变量。做功之和为正,系统总机械能增加,反之减少。在相互作用过程中,弹簧两端的物体把弹簧拉伸至最长(或压缩至最短)时,两端的物体具有相同的速度,弹性势能最大。系统内每个物体除受弹簧弹力外所受其他外力的合力为零,当弹簧为自然长度时,系统内弹簧某一端的物体具有最大速度。

例 3　如图所示,质量 $M=4$ kg 的滑板 B 静止放在光滑水平面上,其右端固定一根轻质弹簧,弹簧的自由端 C 到滑板左端的距离 $L=0.5$ m,这段滑板与木块 A(可视为质点)之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$,而弹簧自由端 C 到弹簧固定端 D 所对应的滑板上表面光滑。木块 A 以速度 $v_0=10$ m/s 由滑板 B 左端开始沿滑板 B 上表面向右运动。已知木块 A 的质量 $m=1$ kg,g 取 $10\ \text{m/s}^2$。求:



①弹簧被压缩到最短时木块 A 的速度大小;

②木块 A 压缩弹簧过程中弹簧的最大弹性势能。

解析　①弹簧被压缩到最短时,木块 A 与滑板 B 具有相同的速度,设为 v,从木块 A 开始沿滑板 B 上表面向右运动至弹簧被压缩到最短的过程中,整体动量守恒,则

$mv_0=(M+m)v$

解得 $v=\frac{m}{M+m}v_0$

代入数据得木块 A 的速度大小 $v=2$ m/s

②在木块 A 压缩弹簧过程中,弹簧被压缩到最短时,弹簧的弹性势能最大,由能量关系知,最大弹性势能为 $E_{pm}=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2-\mu mgL$

代入数据解得 $E_{pm}=39$ J。

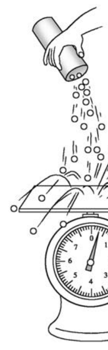
答案　①2 m/s　②39 J

方法集训

对应学生用书 起始页码 80

方法1 有关连续体冲击力的解题方法

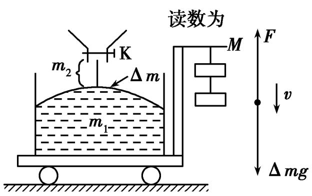
1.(2018北京海淀期中,4)用豆子模拟气体分子,可以模拟气体压强产生的原理。如图所示,从距秤盘 80 cm 高度把1 000粒的豆子连续均匀地倒在秤盘上,持续作用时间为1 s,豆子弹起时竖直方向的速度变为碰前的一半。若每粒豆子只与秤盘碰撞一次,且碰撞时间极短(在豆子与秤盘碰撞极短时间内,碰撞力远大于豆子受到的重力),已知1 000 粒的豆子的总质量为 100 g。则在碰撞过程中秤盘受到的压力大小约为 ( )



A.0.2 N B.0.6 N C.1.0 N D.1.6 N

答案 B 豆子下落过程做自由落体运动,落到秤盘上时速度大小 $v=\sqrt{2gh}=4$ m/s,根据题意知反弹瞬间速度大小为 2 m/s,对豆子碰撞秤盘的过程应用动量定理有:$F=\dfrac{0.1\times2-0.1\times(-4)}{1}$ N=0.6 N,选项B正确。

2.(2020届中原五校联考,6)如图所示,自动称米机已在许多大粮店广泛使用。买者认为:因为米流落到容器中时对容器有向下的冲力而不划算;卖者则认为:当预定米的质量达到要求后时,自动装置即刻切断米流,此刻有一些米仍在空中,这些米是多给买者的,因而双方争执起来。用你学过的物理知识,通过计算分析说明是买者说的对,还是卖者说的对,还是公平交易。



答案 公平交易

解析 本题考查了连续体模型,体现了科学思维中模型建构要素。

设米流的流量为 d,它是恒定的,米流在出口处速度很小可视为零,若切断米流后,设盛米的容器中静止的那部分米的质量为 m_1,空中还在下落的米的质量为 m_2,则落到已静止的米堆上的一小部分米的质量为 Δm。在极短时间 Δt 内,取 Δm 为研究对象,这部分米很少,$\Delta m=d\cdot\Delta t$,设其落到米堆上之前的速度为 v,经 Δt 时间静止,取竖直向上为正方向,由动量定理得 $(F-\Delta mg)\Delta t=\Delta mv$

即 $F=dv+d\cdot\Delta t\cdot g$,因 Δt 很小,故 $F=dv$

根据牛顿第三定律知 $F=F'$,称米机的读数应为 $M=\dfrac{N}{g}=\dfrac{m_1g+F'}{g}=m_1+d\dfrac{v}{g}$

因切断米流后空中尚有 $t=\dfrac{v}{g}$ 时间内对应的米流在空中,故 $d\dfrac{v}{g}=m_2$

可见,称米机读数包含了静止在容器中的部分米的质量 m_1,也包含了尚在空中的下落的米的质量 m_2,即自动称米机是准确的,是公平交易。

3.[2016课标Ⅰ,35(2),10分]某游乐园入口旁有一喷泉,喷出的水柱将一质量为 M 的卡通玩具稳定地悬停在空中。为计算方便起见,假设水柱从横截面积为 S 的喷口持续以速度 v_0 竖直向上喷出;玩具底部为平板(面积略大于 S);水柱冲击到玩具底板后,在竖直方向水的速度变为零,在水平方向朝四周均匀散开。忽略空气阻力。已知水的密度为 ρ,重力加速度大小为 g。求

(ⅰ)喷泉单位时间内喷出的水的质量;

(ⅱ)玩具在空中悬停时,其底面相对于喷口的高度。

答案 (ⅰ)ρv_0S (ⅱ)$\dfrac{v_0^2}{2g}-\dfrac{M^2g}{2\rho^2v_0^2S^2}$

解析 (ⅰ)设 Δt 时间内,从喷口喷出的水的体积为 ΔV,质量为 Δm,则

$\Delta m=\rho\Delta V$ ①

$\Delta V=v_0S\Delta t$ ②

由①②式得,单位时间内从喷口喷出的水的质量为

$\dfrac{\Delta m}{\Delta t}=\rho v_0S$ ③

(ⅱ)设玩具悬停时其底面相对于喷口的高度为 h,水从喷口喷出后到达玩具底面时的速度大小为 v。对于 Δt 时间内喷出的水,由能量守恒得

$\dfrac{1}{2}(\Delta m)v^2+(\Delta m)gh=\dfrac{1}{2}(\Delta m)v_0^2$ ④

在 h 高度处,Δt 时间内喷射到玩具底面的水沿竖直方向的动量变化量的大小为

$\Delta p=(\Delta m)v$ ⑤

设水对玩具的作用力的大小为 F,根据动量定理有

$F\Delta t=\Delta p$ ⑥

由于玩具在空中悬停,由力的平衡条件得

$F=Mg$ ⑦

联立③④⑤⑥⑦式得

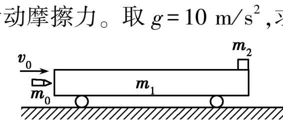
$h=\dfrac{v_0^2}{2g}-\dfrac{M^2g}{2\rho^2v_0^2S^2}$ ⑧

解题指导 以喷泉为背景考查流体中的动量问题。此题必须要假设以 Δt 时间内的流体为研究对象,利用动量定理或动量守恒定律列方程。

方法技巧 在流体类问题中用动量知识解题时,通常要取 Δt 时间内的流体为研究对象求解未知量。

方法2 两个典型模型的处理方法

1.(2018山西名校联考,14)如图所示,一质量 $m_1=0.45$ kg的平顶小车静止在光滑的水平轨道上。质量 $m_2=0.5$ kg的小物块(可视为质点)静止在车顶的右端。一质量为 $m_0=0.05$ kg 的子弹、以水平速度 $v_0=100$ m/s 射中小车左端并留在车中,最终小物块相对地面以 2 m/s 的速度滑离小车。已知子弹与车的作用时间极短,物块与车顶面的动摩擦因数 $\mu=0.8$,认为最大静摩擦力等于滑动摩擦力。取 $g=10$ m/s²,求:



(ⅰ)子弹相对小车静止时小车速度的大小;

(ⅱ)小车的长度 L。

答案 (ⅰ)10 m/s (ⅱ)2 m

解析 (ⅰ)子弹进入小车的过程中,子弹与小车组成的系统动量守恒,由动量守恒定律得

$m_0v_0=(m_0+m_1)v_1$

解得 $v_1=10$ m/s

(ⅱ)三物体组成的系统动量守恒,由动量守恒定律得

$(m_0+m_1)v_1=(m_0+m_1)v_2+m_2v_3$

解得 $v_2=8$ m/s

由能量守恒可得

$\frac{1}{2}(m_0+m_1)v_1^2=\mu m_2gL+\frac{1}{2}(m_0+m_1)v_2^2+\frac{1}{2}m_2v_3^2$

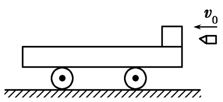
解得 $L=2$ m

2.(2018 黑龙江大庆联考,12) 如图所示,在光滑水平面上有一辆质量 $M=8$ kg 的平板小车,车上有一个质量 $m=1.9$ kg的木块(木块可视为质点),车与木块均处于静止状态。一颗质量 $m_0=0.1$ kg 的子弹以 $v_0=200$ m/s 的初速度水平向左飞,瞬间击中木块并留在其中。已知木块与平板之间的动摩擦因数$\mu=0.5$。(g 取 10 m/s²)

(1)求子弹射入木块后瞬间子弹和木块的共同速度;

(2)若木块不会从小车上落下,求三者的共同速度;

(3)若是木块刚好不会从车上掉下,则小车的平板至少多长?



答案　(1)10 m/s　(2)2 m/s　(3)8 m

解析　(1)子弹射入木块过程中,子弹与木块组成的系统动量守恒,以水平向左为正方向,则由动量守恒有 $m_0v_0=(m_0+m)v_1$

解得:$v_1=\frac{m_0v_0}{m+m_0}=\frac{0.1\times200}{1.9+0.1}$ m/s$=10$ m/s

(2)子弹、木块、小车组成的系统动量守恒,以向左为正方向,由动量守恒定律得$(m_0+m)v_1=(m_0+m+M)v$

解得 $v=\frac{(m_0+m)v_1}{m_0+m+M}=\frac{(0.1+1.9)\times10}{0.1+1.9+8}$ m/s$=2$ m/s

(3)从子弹击中木块后到木块相对小车静止过程,由能量守恒定律得$\frac{1}{2}(m_0+m)v_1^2=\mu(m_0+m)gL+\frac{1}{2}(m_0+m+M)v^2$

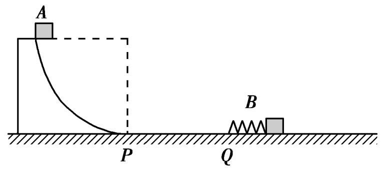
解得 $L=8$ m

3. 如图所示,半径为 R 的四分之一光滑圆弧轨道竖直固定在水平地面上,下端与水平地面在 P 点相切,一个质量为 $2m$ 的物块 B(可视为质点)静止在水平地面上,左端固定有轻弹簧,Q 点为弹簧处于原长时的左端点,P、Q 间的距离为 R,PQ 段地面粗糙、动摩擦因数为$\mu=0.5$,Q 点右侧水平地面光滑。现将质量为 m 的物块 A(可视为质点)从圆弧轨道的最高点由静止开始下滑,重力加速度为 g。求:

(1)物块 A 沿圆弧轨道滑至 P 点时对轨道的压力大小;

(2)弹簧被压缩的最大弹性势能(未超过弹性限度);

(3)物块 A 最终停止位置到 Q 点的距离。



答案　(1)$3mg$　(2)$\frac{1}{3}mgR$　(3)$\frac{1}{9}R$

解析　本题考查了竖直面内圆周运动、动量守恒定律和能量守恒定律的综合应用,体现了科学思维中的科学推理、科学论证要素。

(1)物块 A 从静止沿圆弧轨道滑至 P 点,设速度大小为 v_P,

由机械能守恒定律有:$mgR=\frac{1}{2}mv_P^2$

在最低点轨道对物块的支持力的大小为 F_N,

由牛顿第二定律有:$F_N-mg=m\frac{v_P^2}{R}$,

联立解得:$F_N=3mg$,

由牛顿第三定律可知物块对轨道的压力大小为 $3mg$。

(2)设物块 A 与弹簧接触前瞬间的速度大小为 v_0,

由动能定理有 $mgR-\mu mgR=\frac{1}{2}mv_0^2-0$,$v_0=\sqrt{gR}$,

当物块 A、物块 B 具有共同速度 v 时,弹簧的弹性势能最大,

由动量守恒定律有:$mv_0=(m+2m)v$,

$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}(m+2m)v^2+E_{pm}$,

联立解得 $E_{pm}=\frac{1}{3}mgR$。

(3)设物块 A 与弹簧分离时,A、B 的速度大小分别为 v_1、v_2,规定向右为正,则有

$mv_0=-mv_1+2mv_2$,

$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}(2m)v_2^2$,

联立解得:$v_1=\frac{1}{3}\sqrt{gR}$,

设 A 最终停在 Q 点左侧 x 处,由动能定理有:$-\mu mgx=0-\frac{1}{2}mv_1^2$,

解得 $x=\frac{1}{9}R$。

2015-2019 5年高考　对应学生用书起始页码 236

A组　基础题组

1.(2019 课标Ⅰ,16,6 分) 最近,我国为“长征九号”研制的大推力新型火箭发动机联试成功,这标志着我国重型运载火箭的研发取得突破性进展。若某次实验中该发动机向后喷射的气体速度约为 3 km/s,产生的推力约为 4.8×10^6 N,则它在 1 s 时间内喷射的气体质量约为　(　　)

A.1.6×10^2 kg　　B.1.6×10^3 kg

C.1.6×10^5 kg　　D.1.6×10^6 kg

答案　B　本题考查了考生对动量定理的理解能力,体现了物理模型建构的核心素养,同时也增强了考生的国人自豪感。

设火箭发动机在 1 s 内喷射出气体的质量为 m。以这部分气体为研究对象,应用动量定理,$Ft=mv-0$,解得 $m=\frac{F\cdot t}{v}=1.6\times10^3$ kg。

2.(2018 课标Ⅰ,14,6 分) 高铁列车在启动阶段的运动可看作初速度为零的匀加速直线运动。在启动阶段,列车的动能　(　　)

A.与它所经历的时间成正比

B.与它的位移成正比

C.与它的速度成正比

D.与它的动量成正比

答案 B 本题考查匀变速直线运动规律、动能及动量。设列车运动时间为 t,由匀变速直线运动规律 $v=at$、$s=\frac{1}{2}at^2$,结合动能公式 $E_k=\frac{mv^2}{2}$ 得 $E_k=\frac{ma^2t^2}{2}$、$E_k=mas$,可知 $E_k\propto v^2$、$E_k\propto t^2$、$E_k\propto s$,故 A、C 项均错误,B 项正确。由 $E_k=\frac{p^2}{2m}$,得 $E_k\propto p^2$,故 D 项错误。

3.(2017 天津理综,4,6 分)"天津之眼"是一座跨河建设、桥轮合一的摩天轮,是天津市的地标之一。摩天轮悬挂透明座舱,乘客随座舱在竖直面内做匀速圆周运动。下列叙述正确的是 ( )



A.摩天轮转动过程中,乘客的机械能保持不变

B.在最高点时,乘客重力大于座椅对他的支持力

C.摩天轮转动一周的过程中,乘客重力的冲量为零

D.摩天轮转动过程中,乘客重力的瞬时功率保持不变

答案 B 本题考查匀速圆周运动。乘客在竖直面内做匀速圆周运动,动能不变,而在上升过程中重力势能增加,机械能增加,下降过程中则相反,A 错误。在最高点时,乘客具有竖直向下的向心加速度,处于失重状态,故 B 正确。因重力恒定,重力的冲量等于重力与其作用时间的乘积,故重力冲量一定不为零,C 错误。重力的瞬时功率 $P=mg\cdot v\cdot\cos\alpha$,其中 α 是瞬时速度 v 的方向与重力方向之间的夹角,故重力的瞬时功率不会保持不变,D 错误。

命题评析 本题以竖直平面内的匀速圆周运动为背景,考查了机械能、功率、失重、冲量等重要考点,考查面广泛,难度较小,体现了高考对基础知识、基本能力的"双基"要求。对平时的教学与学习具有重要的指导意义。

4.(2017 课标Ⅰ,14,6 分)将质量为 1.00 kg 的模型火箭点火升空,50 g 燃烧的燃气以大小为 600 m/s 的速度从火箭喷口在很短时间内喷出。在燃气喷出后的瞬间,火箭的动量大小为(喷出过程中重力和空气阻力可忽略) ( )

A.30 kg·m/s B.5.7×10^2 kg·m/s

C.6.0×10^2 kg·m/s D.6.3×10^2 kg·m/s

答案 A 本题考查动量守恒定律。由于喷出过程中重力和空气阻力可忽略,则模型火箭与燃气组成的系统动量守恒。燃气喷出前系统静止,总动量为零,故喷出后瞬间火箭的动量与喷出燃气的动量等值反向,可得火箭的动量大小等于燃气的动量大小,则 $|p_{火}|=|p_{气}|=m_{气}v_{气}=0.05\ \text{kg}\times600\ \text{m/s}=30\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$,A 正确。

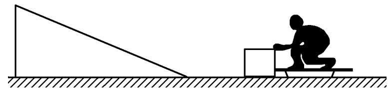
易错点拨 系统中量与物的对应性

动量守恒定律的应用中,系统内物体至少为两个,计算各自的动量时,需注意速度与质量对应于同一物体。

5.[2016 课标Ⅱ,35(2),10 分]如图,光滑冰面上静止放置一表面光滑的斜面体,斜面体右侧一蹲在滑板上的小孩和其面前的冰块均静止于冰面上。某时刻小孩将冰块以相对冰面 3 m/s 的速度向斜面体推出,冰块平滑地滑上斜面体,在斜面体上上升的最大高度为 $h=0.3$ m(h 小于斜面体的高度)。已知小孩与滑板的总质量为 $m_1=30$ kg,冰块的质量为 $m_2=10$ kg,小孩与滑板始终无相对运动。取重力加速度的大小 $g=10\ \text{m/s}^2$。

(ⅰ)求斜面体的质量;

(ⅱ)通过计算判断,冰块与斜面体分离后能否追上小孩?



答案 见解析

解析 (ⅰ)规定向右为速度正方向。冰块在斜面体上运动到最大高度时两者达到共同速度,设此共同速度为 v,斜面体的质量为 m_3。由水平方向动量守恒和机械能守恒定律得

$m_2v_{20}=(m_2+m_3)v$ ①

$\frac{1}{2}m_2v_{20}^2=\frac{1}{2}(m_2+m_3)v^2+m_2gh$ ②

式中 $v_{20}=-3$ m/s 为冰块推出时的速度。联立①②式并代入题给数据得

$m_3=20$ kg ③

(ⅱ)设小孩推出冰块后的速度为 v_1,由动量守恒定律有

$m_1v_1+m_2v_{20}=0$ ④

代入数据得

$v_1=1$ m/s ⑤

设冰块与斜面体分离后的速度分别为 v_2 和 v_3,由动量守恒和机械能守恒定律有

$m_2v_{20}=m_2v_2+m_3v_3$ ⑥

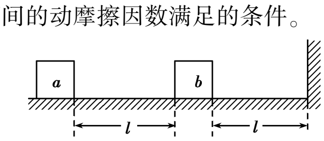
$\frac{1}{2}m_2v_{20}^2=\frac{1}{2}m_2v_2^2+\frac{1}{2}m_3v_3^2$ ⑦

联立③⑥⑦式并代入数据得

$v_2=1$ m/s ⑧

由于冰块与斜面体分离后的速度与小孩推出冰块后的速度相同且处在后方,故冰块不能追上小孩。

6.[2016 课标Ⅲ,35(2),10 分]如图,水平地面上有两个静止的小物块 a 和 b,其连线与墙垂直;a 和 b 相距 l,b 与墙之间也相距 l;a 的质量为 m,b 的质量为 $\frac{3}{4}m$。两物块与地面间的动摩擦因数均相同。现使 a 以初速度 v_0 向右滑动。此后 a 与 b 发生弹性碰撞,但 b 没有与墙发生碰撞。重力加速度大小为 g。求物块与地面间的动摩擦因数满足的条件。



答案 $\frac{32v_0^2}{113gl}\leq\mu<\frac{v_0^2}{2gl}$

解析 设物块与地面间的动摩擦因数为 μ。若要物块 a、b 能够发生碰撞,应有

$\frac{1}{2}mv_0^2>\mu mgl$ ①

即 $\mu<\frac{v_0^2}{2gl}$ ②

设在 a、b 发生弹性碰撞前的瞬间,a 的速度大小为 v_1。由能量守恒有

$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\mu mgl$ ③

设在 a、b 碰撞后的瞬间,a、b 的速度大小分别为 v_1'、v_2',由动量守恒和能量守恒有

$mv_1=mv_1'+\frac{3m}{4}v_2'$ ④

$\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}\left(\frac{3m}{4}\right)v_2'^2$ ⑤

联立④⑤式解得 $v_2'=\frac{8}{7}v_1$　⑥

由题意，b 没有与墙发生碰撞，由功能关系可知

$$\frac{1}{2}\left(\frac{3m}{4}\right)v_2'^2\leqslant\mu\frac{3m}{4}gl \quad ⑦$$

联立③⑥⑦式，可得

$$\mu\geqslant\frac{32v_0^2}{113gl} \quad ⑧$$

联立②⑧式，a 与 b 发生碰撞，但 b 没有与墙发生碰撞的条件为

$$\frac{32v_0^2}{113gl}\leqslant\mu<\frac{v_0^2}{2gl} \quad ⑨$$

解题指导　解答本题需要满足两个条件：①小物块 a 减速运动距离 l 与小物块 b 发生弹性碰撞；②碰后，小物块 b 做减速运动而与墙未发生碰撞。

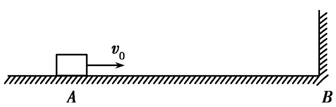
易错点拨　本题的易错点在于考生利用物理规律列方程时，列出的是不等式，而不等式左右两边的大小关系是需要结合物理规律来分析判定的，尤其是不等式"等号"的取舍。

7.（2015 安徽理综，22，14 分） 一质量为 0.5 kg 的小物块放在水平地面上的 A 点，距离 A 点 5 m 的位置 B 处是一面墙，如图所示。物块以 $v_0=9$ m/s 的初速度从 A 点沿 AB 方向运动，在与墙壁碰撞前瞬间的速度为 7 m/s，碰后以 6 m/s 的速度反向运动直至静止。g 取10 m/s²。

（1）求物块与地面间的动摩擦因数 μ；

（2）若碰撞时间为 0.05 s，求碰撞过程中墙面对物块平均作用力的大小 F；

（3）求物块在反向运动过程中克服摩擦力所做的功 W。



答案　（1）0.32　（2）130 N　（3）9 J

解析　（1）由动能定理，有 $-\mu mgs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

可得 $\mu=0.32$

（2）由动量定理，有 $F\Delta t=mv'-mv$

可得 $F=130$ N

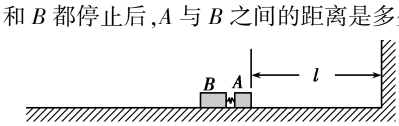
（3）$W=\frac{1}{2}mv'^2=9$ J

8.（2019 课标Ⅲ，25，20 分） 静止在水平地面上的两小物块 A、B，质量分别为 $m_A=1.0$ kg，$m_B=4.0$ kg；两者之间有一被压缩的微型弹簧，A 与其右侧的竖直墙壁距离 $l=1.0$ m，如图所示。某时刻，将压缩的微型弹簧释放，使 A、B 瞬间分离，两物块获得的动能之和为 $E_k=10.0$ J。释放后，A 沿着与墙壁垂直的方向向右运动。A、B 与地面之间的动摩擦因数均为 $\mu=0.20$。重力加速度取 $g=10$ m/s²。A、B 运动过程中所涉及的碰撞均为弹性碰撞且碰撞时间极短。

（1）求弹簧释放后瞬间 A、B 速度的大小；

（2）物块 A、B 中的哪一个先停止？该物块刚停止时 A 与 B 之间的距离是多少？

（3）A 和 B 都停止后，A 与 B 之间的距离是多少？



答案　（1）4.0 m/s　1.0 m/s

（2）B 先停　0.50 m　（3）0.91 m

解析　本题考查动量守恒定律、牛顿第二定律、动能定理和机械能守恒定律的综合应用，要求考生具有较强的推理能力和综合分析能力。题目中涉及两个物体，运动过程较多，涉及规律较多，综合性很强，为较难题。体现了模型建构、科学推理的素养要求。

（1）设弹簧释放瞬间 A 和 B 的速度大小分别为 v_A、v_B，以向右为正，由动量守恒定律和题给条件有

$$0=m_Av_A-m_Bv_B \quad ①$$

$$E_k=\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2 \quad ②$$

联立①②式并代入题给数据得

$$v_A=4.0\text{ m/s},v_B=1.0\text{ m/s} \quad ③$$

（2）A、B 两物块与地面间的动摩擦因数相等，因而两者滑动时加速度大小相等，设为 a。假设 A 和 B 发生碰撞前，已经有一个物块停止，此物块应为弹簧释放后速度较小的 B。设从弹簧释放到 B 停止所需时间为 t，B 向左运动的路程为 s_B，则有

$$m_Ba=\mu m_Bg \quad ④$$

$$s_B=v_Bt-\frac{1}{2}at^2 \quad ⑤$$

$$v_B-at=0 \quad ⑥$$

在时间 t 内，A 可能与墙发生弹性碰撞，碰撞后 A 将向左运动，碰撞并不改变 A 的速度大小，所以无论此碰撞是否发生，A 在时间 t 内的路程 s_A 都可表示为

$$s_A=v_At-\frac{1}{2}at^2 \quad ⑦$$

联立③④⑤⑥⑦式并代入题给数据得

$$s_A=1.75\text{ m},s_B=0.25\text{ m} \quad ⑧$$

$s_A>l$ 且 $s_A-s_B<2l$，这表明在时间 t 内 A 已与墙壁发生碰撞，但没有与 B 发生碰撞，此时 A 位于出发点右边 0.25 m 处。B 位于出发点左边 0.25 m 处，两物块之间的距离 s 为

$$s=0.25\text{ m}+0.25\text{ m}=0.50\text{ m} \quad ⑨$$

（3）t 时刻后 A 将继续向左运动，假设它能与静止的 B 碰撞，碰撞时速度的大小为 v_A'，由动能定理有

$$\frac{1}{2}m_Av_A'^2-\frac{1}{2}m_Av_A^2=-\mu m_Ag(2l+s_B) \quad ⑩$$

联立③⑧⑩式并代入题给数据得

$$v_A'=\sqrt{7}\text{ m/s} \quad ⑪$$

故 A 与 B 将发生碰撞。设碰撞后 A、B 的速度分别为 v_A'' 和 v_B''，由动量守恒定律与机械能守恒定律有

$$m_A(-v_A')=m_Av_A''+m_Bv_B'' \quad ⑫$$

$$\frac{1}{2}m_Av_A'^2=\frac{1}{2}m_Av_A''^2+\frac{1}{2}m_Bv_B''^2 \quad ⑬$$

联立⑪⑫⑬式并代入题给数据得

$$v_A''=\frac{3\sqrt{7}}{5}\text{ m/s},v_B''=-\frac{2\sqrt{7}}{5}\text{ m/s} \quad ⑭$$

这表明碰撞后 A 将向右运动，B 继续向左运动。设碰撞后 A 向右运动距离为 s_A' 时停止，B 向左运动距离为 s_B' 时停止，由运动学公式

$$2as_A'=v_A''^2,2as_B'=v_B''^2 \quad ⑮$$

根据④⑭⑮式及题给条件得

$$s_A'=0.63\text{ m},s_B'=0.28\text{ m} \quad ⑯$$

s_A' 小于碰撞处到墙壁的距离。由上式可得两物块停止后的距离

$$s'=s_A'+s_B'=0.91\text{ m} \quad ⑰$$

解题思路　（1）由动量守恒定律和动能定理计算式联立即可。

（2）利用牛顿第二定律求 A、B 的加速度，分别对 A、B 的运

动过程应用匀变速直线运动公式解决问题。

(3)假设 A 能与 B 碰撞,应用动能定理求出 A 碰撞前的瞬时速度;发生弹性碰撞,则由动量守恒定律和机械能守恒定律联立解出碰后 A、B 的速度,问题便易于解决了。

9.(2019 北京理综,24,20 分)雨滴落到地面的速度通常仅为几米每秒,这与雨滴下落过程中受到空气阻力有关。雨滴间无相互作用且雨滴质量不变,重力加速度为 g。

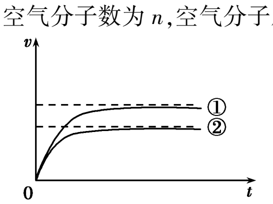
(1)质量为 m 的雨滴由静止开始,下落高度 h 时速度为 u,求这一过程中克服空气阻力所做的功 W。

(2)将雨滴看做半径为 r 的球体,设其竖直落向地面的过程中所受空气阻力 $f=kr^2v^2$,其中 v 是雨滴的速度,k 是比例系数。

a.设雨滴的密度为 ρ,推导雨滴下落趋近的最大速度 v_m 与半径 r 的关系式;

b.示意图中画出了半径为 r_1、r_2($r_1>r_2$)的雨滴在空气中无初速下落的 $v-t$ 图线,其中________对应半径为 r_1 的雨滴(选填①、②);若不计空气阻力,请在图中画出雨滴无初速下落的 $v-t$ 图线。

(3)由于大量气体分子在各方向运动的几率相等,其对静止雨滴的作用力为零。将雨滴简化为垂直于运动方向面积为 S 的圆盘,证明:圆盘以速度 v 下落时受到的空气阻力 $f\propto v^2$(提示:设单位体积内空气分子数为 n,空气分子质量为 m_0)。



答案 (1)$mgh-\frac{1}{2}mu^2$

(2)a.$\sqrt{\frac{4\pi\rho g}{3k}r}$ b.① 图见解析 (3)见解析

解析 本题以雨滴下落为情境,综合考查动能定理、牛顿第二定律、牛顿第三定律和动量定理,体现了科学思维中的模型建构及科学探究中的证据要素。

(1)根据动能定理 $mgh-W=\frac{1}{2}mu^2$

可得 $W=mgh-\frac{1}{2}mu^2$

(2)a.根据牛顿第二定律 $mg-f=ma$

得 $a=g-\frac{kr^2v^2}{m}$

当加速度为零时,雨滴趋近于最大速度 v_m

雨滴质量 $m=\frac{4}{3}\pi r^3\rho$

由 $a=0$,可得,雨滴最大速度

$v_m=\sqrt{\frac{4\pi\rho g}{3k}r}$

b.由 $v_m=\sqrt{\frac{4\pi\rho g}{3k}r}$ 可知,①对应半径为 r_1 的雨滴。所作 $v-t$ 图线如图 1。

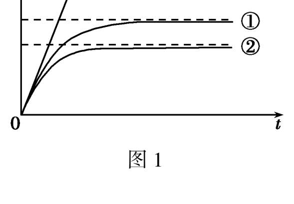


图 1

(3)根据题设条件:大量气体分子在各方向运动的几率相等,其对静止雨滴的作用力为零。以下只考虑雨滴下落的定向运动。

简化的圆盘模型如图 2。设空气分子与圆盘碰撞前后相对速度大小不变。在 Δt 时间内,与圆盘碰撞的空气分子质量为 $\Delta m=Sv\Delta tnm_0$

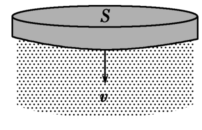


图 2

以 F 表示圆盘对气体分子的作用力,根据动量定理,

有 $F\Delta t\propto\Delta m\times v$

得 $F\propto nm_0Sv^2$

由牛顿第三定律,可知圆盘所受空气阻力

$f\propto v^2$

采用不同的碰撞模型,也可得到相同结论。

解题关键 ①雨滴在下落过程中受重力和空气阻力,根据牛顿第二定律确定出下落过程中雨滴的加速度与运动速度的关系,即可确定下落的最大速度和 $v-t$ 图像;②巧妙地结合动量定理在连续体中的应用,用微元思想确定圆盘对气体分子的作用力。

10.(2018 课标Ⅰ,24,12 分)一质量为 m 的烟花弹获得动能 E 后,从地面竖直升空。当烟花弹上升的速度为零时,弹中火药爆炸将烟花弹炸为质量相等的两部分,两部分获得的动能之和也为 E,且均沿竖直方向运动。爆炸时间极短,重力加速度大小为 g,不计空气阻力和火药的质量。求

(1)烟花弹从地面开始上升到弹中火药爆炸所经过的时间;

(2)爆炸后烟花弹向上运动的部分距地面的最大高度。

答案 (1)$\frac{1}{g}\sqrt{\frac{2E}{m}}$ (2)$\frac{2E}{mg}$

解析 本题主要考查竖直上抛运动规律及动量守恒定律。

(1)设烟花弹上升的初速度为 v_0,由题给条件有

$$E=\frac{1}{2}mv_0^2 \quad ①$$

设烟花弹从地面开始上升到火药爆炸所用的时间为 t,由运动学公式有

$$0-v_0=-gt \quad ②$$

联立①②式得

$$t=\frac{1}{g}\sqrt{\frac{2E}{m}} \quad ③$$

(2)设爆炸时烟花弹距地面的高度为 h_1,由机械能守恒定律有

$$E=mgh_1 \quad ④$$

火药爆炸后,烟花弹上、下两部分均沿竖直方向运动,设炸后瞬间其速度分别为 v_1 和 v_2。由题给条件和动量守恒定律有

$$\frac{1}{4}mv_1^2+\frac{1}{4}mv_2^2=E \quad ⑤$$

$$\frac{1}{2}mv_1+\frac{1}{2}mv_2=0 \quad ⑥$$

由⑥式知,烟花弹两部分的速度方向相反,向上运动部分做竖直上抛运动。设爆炸后烟花弹上部分继续上升的高度为 h_2,由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{4}mv_1^2=\frac{1}{2}mgh_2 \quad ⑦$$

联立④⑤⑥⑦式得,烟花弹上部分距地面的最大高度为

$$h=h_1+h_2=\frac{2E}{mg} \quad ⑧$$

易错点拨　关键词理解,隐含条件显性化

①题目中的两个 E,分别对应"一个物体"和"两个物体"。

②爆炸后两部分质量均为 $\frac{m}{2}$。

③爆炸过程中系统初动量为 0。

④距地面的最大高度由两部分组成,一是爆炸前上升的高度,二是爆炸后向上运动的部分上升的高度。

B 组　提升题组

1.[2019 江苏单科,12(1)]质量为 M 的小孩站在质量为 m 的滑板上,小孩和滑板均处于静止状态,忽略滑板与地面间的摩擦。小孩沿水平方向跃离滑板,离开滑板时的速度大小为 v,此时滑板的速度大小为 (　　)

A.$\frac{m}{M}v$　　B.$\frac{M}{m}v$　　C.$\frac{m}{m+M}v$　　D.$\frac{M}{m+M}v$

答案　B　本题考查了动量守恒定律,考查的是学生对动量守恒定律适用条件的理解能力,体现了科学思维中的科学推理要素及物理观念中的运动与相互作用观念要素。

忽略滑板与地面间摩擦时,小孩与滑板在水平方向上动量守恒:$0=Mv+mv'$,解得 $v'=-\frac{M}{m}v$,其中"-"表示 v' 与 v 方向相反,故 B 正确。

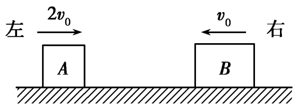
2.[2015 福建理综,30(2),6 分]如图,两滑块 A、B 在光滑水平面上沿同一直线相向运动,滑块 A 的质量为 m,速度大小为 $2v_0$,方向向右,滑块 B 的质量为 $2m$,速度大小为 v_0,方向向左,两滑块发生弹性碰撞后的运动状态是 (　　)

A.A 和 B 都向左运动

B.A 和 B 都向右运动

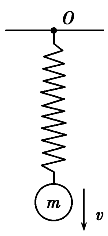
C.A 静止,B 向右运动

D.A 向左运动,B 向右运动



答案　D　由于 A、B 碰前总动量为 0,由动量守恒可知碰后总动量也为 0,因两滑块发生弹性碰撞,故碰后 A、B 一定反向,即 A 向左运动,B 向右运动,选项 D 正确。

3.[2018 江苏单科,12C(3)]如图所示,悬挂于竖直弹簧下端的小球质量为 m,运动速度的大小为 v,方向向下。经过时间 t,小球的速度大小为 v,方向变为向上。忽略空气阻力,重力加速度为 g,求该运动过程中,小球所受弹簧弹力冲量的大小。



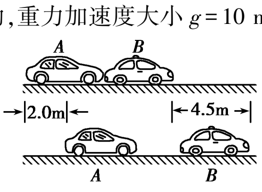
答案　$2mv+mgt$

解析　取向上为正方向,由动量定理得 $mv-(-mv)=I$

且 $I=(\overline{F}-mg)t$

解得 $I_F=\overline{F}t=2mv+mgt$

4.(2018 课标Ⅱ,24,12 分)汽车 A 在水平冰雪路面上行驶。驾驶员发现其正前方停有汽车 B,立即采取制动措施,但仍然撞上了汽车 B。两车碰撞时和两车都完全停止后的位置如图所示,碰撞后 B 车向前滑动了 4.5 m,A 车向前滑动了 2.0 m。已知 A 和 B 的质量分别为 2.0×10^3 kg 和 1.5×10^3 kg,两车与该冰雪路面间的动摩擦因数均为0.10,两车碰撞时间极短,在碰撞后车轮均没有滚动,重力加速度大小 $g=10\ m/s^2$。求



(1)碰撞后的瞬间 B 车速度的大小;

(2)碰撞前的瞬间 A 车速度的大小。

答案　(1)3.0 m/s　(2)4.25 m/s

解析　本题考查牛顿第二定律和动量守恒定律等知识。

(1)设 B 车的质量为 m_B,碰后加速度大小为 a_B,根据牛顿第二定律有

$$\mu m_Bg=m_Ba_B \quad ①$$

式中 μ 是汽车与路面间的动摩擦因数。

设碰撞后瞬间 B 车速度的大小为 v_B',碰撞后滑行的距离为 s_B。由运动学公式有

$$v_B'^2=2a_Bs_B \quad ②$$

联立①②式并利用题给数据得

$$v_B'=3.0\ m/s \quad ③$$

(2)设 A 车的质量为 m_A,碰后加速度大小为 a_A。根据牛顿第二定律有

$$\mu m_Ag=m_Aa_A \quad ④$$

设碰撞后瞬间 A 车速度的大小为 v_A',碰撞后滑行的距离为 s_A。由运动学公式有

$$v_A'^2=2a_As_A \quad ⑤$$

设碰撞前的瞬间 A 车速度的大小为 v_A。两车在碰撞过程中动量守恒,有

$$m_Av_A=m_Av_A'+m_Bv_B' \quad ⑥$$

联立③④⑤⑥式并利用题给数据得

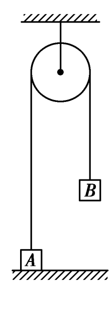
$$v_A=4.25\ m/s \quad ⑦$$

解题关键　确定速度是解决碰撞问题的关键

(1)由牛顿第二定律和运动学公式可确定碰撞后瞬间 A、B 两车的速度。

(2)由于两车碰撞时间极短,因此碰撞时内力远大于外力,满足动量守恒,故可确定碰撞前的瞬间 A 车的速度。

5.(2017 天津理综,10,16 分)如图所示,物块 A 和 B 通过一根轻质不可伸长的细绳相连,跨放在质量不计的光滑定滑轮两侧,质量分别为 $m_A=2$ kg、$m_B=1$ kg。初始时 A 静止于水平地面上,B 悬于空中。现将 B 竖直向上再举高 $h=1.8$ m(未触及滑轮),然后由静止释放。一段时间后细绳绷直,A、B 以大小相等的速度一起运动,之后 B 恰好可以和地面接触。取 $g=10\ m/s^2$,空气阻力不计。求:



(1)B 从释放到细绳刚绷直时的运动时间 t;

(2)A 的最大速度 v 的大小;

(3)初始时 B 离地面的高度 H。

答案　(1)0.6 s　(2)2 m/s　(3)0.6 m

解析　本题考查自由落体运动、机械能守恒定律及动量守恒定律。

(1)B 从释放到细绳刚绷直前做自由落体运动,有

$$h=\frac{1}{2}gt^2 \quad ①$$

代入数据解得

$t=0.6\ \text{s}$ ②

(2)设细绳绷直前瞬间 B 速度大小为 v_B,有

$v_B=gt$ ③

细绳绷直瞬间,细绳张力远大于 A、B 的重力,A、B 相互作用,由动量守恒得

$m_Bv_B=(m_A+m_B)v$ ④

之后 A 做匀减速运动,所以细绳绷直后瞬间的速度 v 即最大速度,联立②③④式,代入数据解得

$v=2\ \text{m/s}$ ⑤

(3)细绳绷直后,A、B 一起运动,B 恰好可以和地面接触,说明此时 A、B 的速度为零,这一过程中 A、B 组成的系统机械能守恒,有

$\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2+m_BgH=m_AgH$ ⑥

代入数据解得

$H=0.6\ \text{m}$ ⑦

规律总结 完全非弹性碰撞

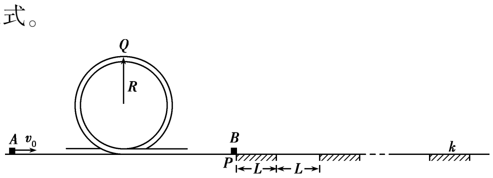
细绳绷直的瞬间,细绳张力远大于 A、B 的重力,A 和 B 组成的系统动量守恒。此过程属于"绷紧"模型,可与子弹打入物块并留在其中的碰撞模型归纳为同一个类型,都属于完全非弹性碰撞。

6.(2015 广东理综,36,18 分) 如图所示,一条带有圆轨道的长轨道水平固定,圆轨道竖直,底端分别与两侧的直轨道相切,半径 $R=0.5\ \text{m}$。物块 A 以 $v_0=6\ \text{m/s}$ 的速度滑入圆轨道,滑过最高点 Q,再沿圆轨道滑出后,与直轨上 P 处静止的物块 B 碰撞,碰后粘在一起运动。P 点左侧轨道光滑,右侧轨道呈粗糙段、光滑段交替排列,每段长度都为 $L=0.1\ \text{m}$。物块与各粗糙段间的动摩擦因数都为 $\mu=0.1$,A、B 的质量均为 $m=1\ \text{kg}$(重力加速度 g 取 $10\ \text{m/s}^2$;A、B 视为质点,碰撞时间极短)。

(1)求 A 滑过 Q 点时的速度大小 v 和受到的弹力大小 F;

(2)若碰后 AB 最终停止在第 k 个粗糙段上,求 k 的数值;

(3)求碰后 AB 滑至第 n 个($n<k$)光滑段上的速度 v_n 与 n 的关系式。



答案 (1)4 m/s 22 N (2)45

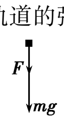
(3)$v_n=\sqrt{9-0.2n}\ \text{m/s}(n<45)$

解析 (1)物块 A 由初始位置到 Q 的过程,由动能定理得:

$-mg\times2R=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得:$v=4\ \text{m/s}$

设在 Q 点物块 A 受到轨道的弹力为 F,受力分析如图所示



由牛顿第二定律得:$mg+F=\frac{mv^2}{R}$

解得:$F=\frac{mv^2}{R}-mg=22\ \text{N}$

方向竖直向下

(2)由机械能守恒定律知:物块 A 与 B 碰前的速度仍为 $v_0=6\ \text{m/s}$

A 与 B 碰撞过程动量守恒,设碰后 A、B 的速度为 $v_共$

$mv_0=2mv_共$

解得 $v_共=\frac{1}{2}v_0=3\ \text{m/s}$

设 A 与 B 碰后一起运动到停止,在粗糙段运动的路程为 s,由动能定理得

$-\mu\times2mgs=0-\frac{1}{2}\times2mv_共^2$

解得:$s=\frac{v_共^2}{2g\mu}=4.5\ \text{m}$

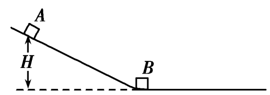
故 $k=\frac{s}{L}=\frac{4.5}{0.1}=45$

(3)碰后 AB 滑至第 n 个($n<k$)光滑段上的速度等于滑离第 n 个($n<k$)粗糙段的速度

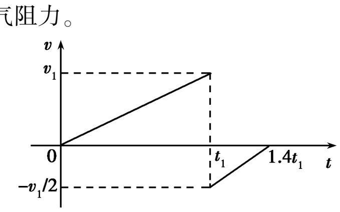
由动能定理得:$-\mu\times2mgnL=\frac{1}{2}\times2mv_n^2-\frac{1}{2}\times2mv_共^2$

解得:$v_n=\sqrt{v_共^2-2\mu gnL}=\sqrt{9-0.2n}\ \text{m/s}(n<45)$

7.(2019 课标Ⅰ,25,20 分) 竖直面内一倾斜轨道与一足够长的水平轨道通过一小段光滑圆弧平滑连接,小物块 B 静止于水平轨道的最左端,如图(a)所示。$t=0$ 时刻,小物块 A 在倾斜轨道上从静止开始下滑,一段时间后与 B 发生弹性碰撞(碰撞时间极短);当 A 返回到倾斜轨道上的 P 点(图中未标出)时,速度减为 0,此时对其施加一外力,使其在倾斜轨道上保持静止。物块 A 运动的 $v-t$ 图像如图(b)所示,图中的 v_1 和 t_1 均为未知量。已知 A 的质量为 m,初始时 A 与 B 的高度差为 H,重力加速度大小为 g,不计空气阻力。



图(a)



图(b)

(1)求物块 B 的质量;

(2)在图(b)所描述的整个运动过程中,求物块 A 克服摩擦力所做的功;

(3)已知两物块与轨道间的动摩擦因数均相等。在物块 B 停止运动后,改变物块与轨道间的动摩擦因数,然后将 A 从 P 点释放,一段时间后 A 刚好能与 B 再次碰上。求改变前后动摩擦因数的比值。

答案 (1)$3m$ (2)$\frac{2}{15}mgH$ (3)$\frac{11}{9}$

解析 本题通过两物块在粗糙轨道上的滑行与碰撞考查了动量守恒定律、能量守恒定律等相关规律,考查了考生综合分析能力及应用数学知识处理物理问题的能力,体现了模型建构、科学推理等核心素养要素。

(1)根据图(b),v_1 为物块 A 在碰撞前瞬间速度的大小,$\frac{v_1}{2}$为其碰撞后瞬间速度的大小。设物块 B 的质量为 m',碰撞后瞬间的速度大小为 v'。由动量守恒定律和机械能守恒定律有

$mv_1=m\left(-\frac{v_1}{2}\right)+m'v'$ ①

$\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}m\left(-\frac{1}{2}v_1\right)^2+\frac{1}{2}m'v'^2$ ②

联立①②式得

$m'=3m$ ③

(2)在图(b)所描述的运动中,设物块 A 与轨道间的滑动摩擦力大小为 f,下滑过程中所走过的路程为 s_1,返回过程中所走过的路程为 s_2,P 点的高度为 h,整个过程中克服摩擦力所做的功为 W。由动能定理有

$$mgH-fs_1=\frac{1}{2}mv_1^2-0 \quad ④$$

$$-(fs_2+mgh)=0-\frac{1}{2}m\left(-\frac{v_1}{2}\right)^2 \quad ⑤$$

从图(b)所给出的 $v-t$ 图线可知

$$s_1=\frac{1}{2}v_1t_1 \quad ⑥$$

$$s_2=\frac{1}{2}\cdot\frac{v_1}{2}\cdot(1.4t_1-t_1) \quad ⑦$$

由几何关系可得

$$\frac{s_2}{s_1}=\frac{h}{H} \quad ⑧$$

物块 A 在整个过程中克服摩擦力所做的功为

$$W=fs_1+fs_2 \quad ⑨$$

联立④⑤⑥⑦⑧⑨式可得

$$W=\frac{2}{15}mgH \quad ⑩$$

(3)设倾斜轨道倾角为 θ,物块与轨道间的动摩擦因数在改变前为 μ,有

$$W=\mu mg\cos\theta\cdot\frac{H+h}{\sin\theta} \quad ⑪$$

设物块 B 在水平轨道上能够滑行的距离为 s',由动能定理有

$$-\mu m'gs'=0-\frac{1}{2}m'v'^2 \quad ⑫$$

设改变后的动摩擦因数为 μ',由动能定理有

$$mgh-\mu'mg\cos\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}-\mu'mgs'=0 \quad ⑬$$

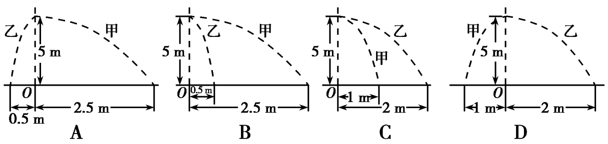
联立①③④⑤⑥⑦⑧⑩⑪⑫⑬式可得

$$\frac{\mu}{\mu'}=\frac{11}{9} \quad ⑭$$

解法指导　(1)在时间短暂的弹性碰撞中,利用动量守恒、能量守恒列式求解;(2)涉及距离的问题中,通常利用动能定理列式可简便求解力、功等相关物理量。

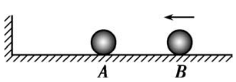
C组　教师专用题组

1.[2014 重庆理综,4,6 分]一弹丸在飞行到距离地面 5 m 高时仅有水平速度 $v=2$ m/s,爆炸成为甲、乙两块水平飞出,甲、乙的质量比为3∶1。不计质量损失,取重力加速度 $g=10$ m/s²,则下列图中两块弹片飞行的轨迹可能正确的是　　(　　)



答案　B　平抛运动时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=1$ s,爆炸过程遵守动量守恒定律,设弹丸质量为 m,则 $mv=\frac{3}{4}mv_{甲}+\frac{1}{4}mv_{乙}$,又 $v_{甲}=\frac{x_{甲}}{t}$,$v_{乙}=\frac{x_{乙}}{t}$,$t=1$ s,则有 $\frac{3}{4}x_{甲}+\frac{1}{4}x_{乙}=2$ m,将各选项中数据代入计算得 B 正确。

2.[2015 天津理综,9(1)]如图所示,在光滑水平面的左侧固定一竖直挡板,A 球在水平面上静止放置,B 球向左运动与 A 球发生正碰,B 球碰撞前、后的速率之比为 3∶1,A 球垂直撞向挡板,碰后原速率返回。两球刚好不发生第二次碰撞,A、B 两球的质量之比为________,A、B 碰撞前、后两球总动能之比为________。



答案　4∶1　9∶5

解析　设碰前 B 球速度大小为 v_0,碰后 A、B 两球速度大小分别为 v_A、v_B,由题意知,碰后 A 球速度方向向左,B 球速度方向向右,且 $v_A=v_B=\frac{1}{3}v_0$,碰撞过程动量守恒,取水平向右为正方向,则有 $-m_Bv_0=-m_Av_A+m_Bv_B$,解得:$m_A∶m_B=4∶1$;碰撞前、后两球总动能之比为 $\frac{\frac{1}{2}m_Bv_0^2}{\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2}=\frac{9}{5}$。

3.[2018 天津理综,9(1)]质量为 0.45 kg 的木块静止在光滑水平面上,一质量为 0.05 kg 的子弹以 200 m/s 的水平速度击中木块,并留在其中,整个木块沿子弹原方向运动,则木块最终速度的大小是________m/s。若子弹在木块中运动时受到的平均阻力为 4.5×10^3 N,则子弹射入木块的深度为________m。

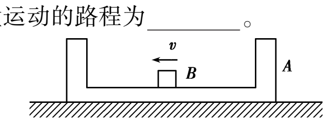
答案　20　0.2

解析　本题考查动量守恒定律、功能关系等知识。

子弹击中木块,并留在其中,二者共速,子弹击中木块的过程,系统合外力为零,满足动量守恒条件,则 $mv_0=(m+M)v$,$v=\frac{mv_0}{M+m}=\frac{200\times0.05}{0.5}$ m/s $=20$ m/s;此过程中对系统由功能关系可得:$fd=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2$,$d=\frac{mv_0^2-(m+M)v^2}{2f}=0.2$ m。

知识拓展　系统中产生的焦耳热 $Q=f\cdot d$。

4.[2016 天津理综,9(1)]如图所示,方盒 A 静止在光滑的水平面上,盒内有一小滑块 B,盒的质量是滑块的 2 倍,滑块与盒内水平面间的动摩擦因数为 μ。若滑块以速度 v 开始向左运动,与盒的左、右壁发生无机械能损失的碰撞,滑块在盒中来回运动多次,最终相对于盒静止,则此时盒的速度大小为________,滑块相对于盒运动的路程为________。



答案　$\frac{v}{3}$　$\frac{v^2}{3\mu g}$

解析　设滑块的质量为 m,最终盒与滑块的共同速度为 v'

根据动量守恒得:$mv=(m+2m)v'$

解得 $v'=\frac{1}{3}v$

设滑块相对于盒的运动路程为 s

根据能量守恒得:$\mu mgs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}(m+2m)v'^2$

解得 $s=\frac{v^2}{3\mu g}$

反思感悟　应用动量守恒定律解题的过程中,只需关注初、末两个状态,而不必关注过程细节,这正是动量守恒定律的优越性。例如,本题中不必关心滑块究竟是怎样与盒相互作用的及碰撞了多少次。

5.[2017 江苏单科,12C(2)(3)](2)质子($_{1}^{1}H$)和 α 粒子($_{2}^{4}He$)被加速到相同动能时,质子的动量________(选填"大于"、"小于"或"等于")α 粒子的动量,质子和 α 粒子的德布罗意波波长之比为________。

(3)甲、乙两运动员在做花样滑冰表演,沿同一直线相向运动,速度大小都是 1 m/s。甲、乙相遇时用力推对方,此后都沿各自原方向的反方向运动,速度大小分别为 1 m/s 和2 m/s。求甲、乙两运动员的质量之比。

答案 (2)小于 2∶1 (3)见解析

解析 (2)由动量与动能的关系 $p=\sqrt{2mE_k}$ 可知,E_k 相同时,质量小的动量也较小,故质子的动量小于 α 粒子的动量。德布罗意波长 $\lambda=\frac{h}{p}$,而 $p\propto\sqrt{m}$,故 $\lambda\propto\frac{1}{\sqrt{m}}$,则 $\lambda_H:\lambda_\alpha=\sqrt{m_\alpha}:\sqrt{m_H}=2:1$。

(3)由动量守恒,有 $m_1v_1-m_2v_2=m_2v_2'-m_1v_1'$

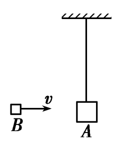
解得 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{v_2+v_2'}{v_1+v_1'}$

代入数据得 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{3}{2}$

友情提醒 动量守恒定律的矢量性

应用动量守恒定律解题时,一定要先规定正方向,与规定正方向相反的速度,要代入负数进行计算。若列式时已经考虑到了矢量性,则代入绝对值计算即可,如本题的解题过程就是如此。

6.[2016 海南单科,17(2),8 分]如图,物块 A 通过一不可伸长的轻绳悬挂在天花板下,初始时静止;从发射器(图中未画出)射出的物块 B 沿水平方向与 A 相撞,碰撞后两者粘连在一起运动,碰撞前 B 的速度的大小 v 及碰撞后 A 和 B 一起上升的高度 h 均可由传感器(图中未画出)测得。某同学以 h 为纵坐标,v^2 为横坐标,利用实验数据作直线拟合,求得该直线的斜率为 $k=1.92\times10^{-3}\ s^2/m$。已知物块 A 和 B 的质量分别为 $m_A=0.400$ kg 和 $m_B=0.100$ kg,重力加速度大小 $g=9.80\ m/s^2$。



(ⅰ)若碰撞时间极短且忽略空气阻力,求 $h-v^2$ 直线斜率的理论值 k_0。

(ⅱ)求 k 值的相对误差 δ($\delta=\frac{|k-k_0|}{k_0}\times100\%$,结果保留 1 位有效数字)。

答案 (ⅰ)$2.04\times10^{-3}\ s^2/m$ (ⅱ)6%

解析 (ⅰ)设物块 A 和 B 碰撞后共同运动的速度为 v',由动量守恒定律有

$m_Bv=(m_A+m_B)v'$ ①

在碰撞后 A 和 B 共同上升的过程中,由机械能守恒定律有

$\frac{1}{2}(m_A+m_B)v'^2=(m_A+m_B)gh$ ②

联立①②式得

$h=\frac{m_B^2}{2g(m_A+m_B)^2}v^2$ ③

由题意得

$k_0=\frac{m_B^2}{2g(m_A+m_B)^2}$ ④

代入题给数据得

$k_0=2.04\times10^{-3}\ s^2/m$ ⑤

(ⅱ)按照定义

$\delta=\frac{|k-k_0|}{k_0}\times100\%$ ⑥

由⑤⑥式和题给条件得

$\delta=6\%$ ⑦

7.[2014 江苏单科,12C(3)]牛顿的《自然哲学的数学原理》中记载,A、B 两个玻璃球相碰,碰撞后的分离速度和它们碰撞前的接近速度之比总是约为 15∶16。分离速度是指碰撞后 B 对 A 的速度,接近速度是指碰撞前 A 对 B 的速度。若上述过程是质量为 $2m$ 的玻璃球 A 以速度 v_0 碰撞质量为 m 的静止玻璃球 B,且为对心碰撞,求碰撞后 A、B 的速度大小。

答案 $\frac{17}{48}v_0$ $\frac{31}{24}v_0$

解析 设 A、B 球碰撞后速度分别为 v_1 和 v_2

由动量守恒定律

$2mv_0=2mv_1+mv_2$,且由题意知 $\frac{v_2-v_1}{v_0}=\frac{15}{16}$

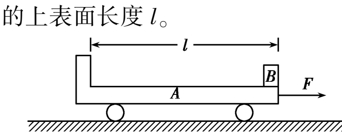
解得 $v_1=\frac{17}{48}v_0$,$v_2=\frac{31}{24}v_0$

8.(2014 天津理综,10,16 分)如图所示,水平地面上静止放置一辆小车 A,质量 $m_A=4$ kg,上表面光滑,小车与地面间的摩擦力极小,可以忽略不计。可视为质点的物块 B 置于 A 的最右端,B 的质量 $m_B=2$ kg。现对 A 施加一个水平向右的恒力 $F=10$ N,A 运动一段时间后,小车左端固定的挡板与 B 发生碰撞,碰撞时间极短,碰后 A、B 粘合在一起,共同在 F 的作用下继续运动,碰撞后经时间 $t=0.6$ s,二者的速度达到 $v_t=2$ m/s。求

(1)A 开始运动时加速度 a 的大小;

(2)A、B 碰撞后瞬间的共同速度 v 的大小;

(3)A 的上表面长度 l。



答案 (1)2.5 m/s² (2)1 m/s (3)0.45 m

解析 (1)以 A 为研究对象,由牛顿第二定律有

$F=m_Aa$ ①

代入数据解得

$a=2.5\ m/s^2$ ②

(2)对 A、B 碰撞后共同运动 $t=0.6$ s 的过程,由动量定理得

$Ft=(m_A+m_B)v_t-(m_A+m_B)v$ ③

代入数据解得

$v=1$ m/s ④

(3)设 A、B 发生碰撞前,A 的速度为 v_A,对 A、B 发生碰撞的过程,由动量守恒定律有

$m_Av_A=(m_A+m_B)v$ ⑤

A 从开始运动到与 B 发生碰撞前,由动能定理有

$Fl=\frac{1}{2}m_Av_A^2$ ⑥

由④⑤⑥式,代入数据解得

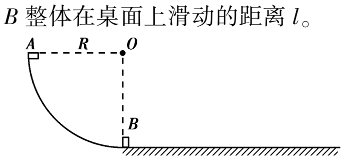
$l=0.45$ m ⑦

9.(2014 北京理综,22,16 分)如图所示,竖直平面内的四分之一圆弧轨道下端与水平桌面相切,小滑块 A 和 B 分别静止在圆弧轨道的最高点和最低点。现将 A 无初速释放,A 与 B 碰撞后结合为一个整体,并沿桌面滑动。已知圆弧轨道光滑,半径 $R=0.2$ m;A 和 B 的质量相等;A 和 B 整体与桌面之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$。取重力加速度 $g=10\ m/s^2$。求:

(1)碰撞前瞬间 A 的速率 v;

(2)碰撞后瞬间 A 和 B 整体的速率 v';

(3)A 和 B 整体在桌面上滑动的距离 l。



答案　(1)2 m/s　(2)1 m/s　(3)0.25 m

解析　设滑块的质量为 m。

(1)根据机械能守恒定律 $mgR=\frac{1}{2}mv^2$

得碰撞前瞬间 A 的速率 $v=\sqrt{2gR}=2$ m/s

(2)根据动量守恒定律 $mv=2mv'$

得碰撞后瞬间 A 和 B 整体的速率 $v'=\frac{1}{2}v=1$ m/s

(3)根据动能定理 $\frac{1}{2}(2m)v'^2=\mu(2m)gl$

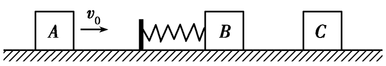
得 A 和 B 整体沿水平桌面滑动的距离

$l=\frac{v'^2}{2\mu g}=0.25$ m

10. [2013 课标Ⅱ,35(2),10 分,0.270] 如图,光滑水平直轨道上有三个质量均为 m 的物块 A、B、C。B 的左侧固定一轻弹簧(弹簧左侧的挡板质量不计)。设 A 以速度 v_0 朝 B 运动,压缩弹簧;当 A、B 速度相等时,B 与 C 恰好相碰并粘接在一起,然后继续运动。假设 B 和 C 碰撞过程时间极短。求从 A 开始压缩弹簧直至与弹簧分离的过程中,

(ⅰ)整个系统损失的机械能;

(ⅱ)弹簧被压缩到最短时的弹性势能。



答案　(ⅰ)$\frac{1}{16}mv_0^2$　(ⅱ)$\frac{13}{48}mv_0^2$

解析　(ⅰ)从 A 压缩弹簧到 A 与 B 具有相同速度 v_1 时,对 A、B 与弹簧组成的系统,由动量守恒定律得

$mv_0=2mv_1$　①

此时 B 与 C 发生完全非弹性碰撞,设碰撞后的瞬时速度为 v_2,损失的机械能为 ΔE,对 B、C 组成的系统,由动量守恒和能量守恒定律得

$mv_1=2mv_2$　②

$\frac{1}{2}mv_1^2=\Delta E+\frac{1}{2}(2m)v_2^2$　③

联立①②③式得

$\Delta E=\frac{1}{16}mv_0^2$　④

(ⅱ)由②式可知 $v_2<v_1$,A 将继续压缩弹簧,直至 A、B、C 三者速度相同,设此速度为 v_3,此时弹簧被压缩至最短,其弹性势能为 E_p。由动量守恒和能量守恒定律得

$mv_0=3mv_3$　⑤

$\frac{1}{2}mv_0^2-\Delta E=\frac{1}{2}(3m)v_3^2+E_p$　⑥

联立④⑤⑥式得

$E_p=\frac{13}{48}mv_0^2$　⑦

审题点拨　①因水平面光滑,则可考虑应用动量守恒定律。②A 和 B 速度相等时,A、B 与弹簧组成的系统动量守恒。③B 和 C 相碰后粘接在一起,意味着 B 和 C 发生完全非弹性碰撞,有机械能损失。

11. (2016 北京理综,24,20 分)(1)动量定理可以表示为 $\Delta p=F\Delta t$,其中动量 p 和力 F 都是矢量。在运用动量定理处理二维问题时,可以在相互垂直的 x、y 两个方向上分别研究。例如,质量为 m 的小球斜射到木板上,入射的角度是 θ,碰撞后弹出的角度也是 θ,碰撞前后的速度大小都是 v,如图 1 所示。碰撞过程中忽略小球所受重力。

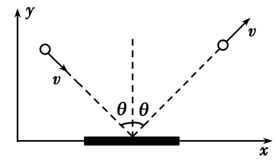


图 1

a.分别求出碰撞前后 x、y 方向小球的动量变化 Δp_x、Δp_y;

b.分析说明小球对木板的作用力的方向。

(2)激光束可以看做是粒子流,其中的粒子以相同的动量沿光传播方向运动。激光照射到物体上,在发生反射、折射和吸收现象的同时,也会对物体产生作用。光镊效应就是一个实例,激光束可以像镊子一样抓住细胞等微小颗粒。

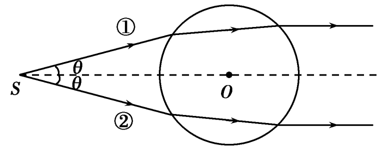


图 2

一束激光经 S 点后被分成若干细光束,若不考虑光的反射和吸收,其中光束①和②穿过介质小球的光路如图 2 所示。图中 O 点是介质小球的球心,入射时光束①和②与 SO 的夹角均为 θ,出射时光束均与 SO 平行。请在下面两种情况下,分析说明两光束因折射对小球产生的合力的方向。

a.光束①和②强度相同;

b.光束①比②的强度大。

答案　见解析

解析　(1)a.x 方向:动量变化为

$\Delta p_x=mv\sin\theta-mv\sin\theta=0$

y 方向:动量变化为

$\Delta p_y=mv\cos\theta-(-mv\cos\theta)=2mv\cos\theta$

方向沿 y 轴正方向

b.根据动量定理可知,木板对小球作用力的方向沿 y 轴正方向;根据牛顿第三定律可知,小球对木板作用力的方向沿 y 轴负方向。

(2)a.仅考虑光的折射,设 Δt 时间内每束光穿过小球的粒子数为 n,每个粒子动量的大小为 p。

这些粒子进入小球前的总动量为 $p_1=2np\cos\theta$

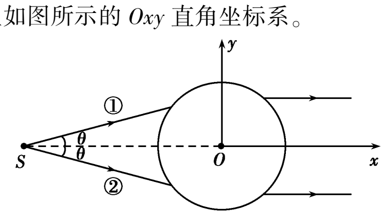
从小球出射时的总动量为 $p_2=2np$

p_1、p_2 的方向均沿 SO 向右

根据动量定理:$F\Delta t=p_2-p_1=2np(1-\cos\theta)>0$

可知,小球对这些粒子的作用力 F 的方向沿 SO 向右;根据牛顿第三定律,两光束对小球的合力的方向沿 SO 向左。

b.建立如图所示的 Oxy 直角坐标系。



x 方向:根据(2)a 同理可知,两光束对小球的作用力沿 x 轴负方向。

y 方向:设 Δt 时间内,光束①穿过小球的粒子数为 n_1,光束②穿过小球的粒子数为 n_2,$n_1>n_2$。

这些粒子进入小球前的总动量为 $p_{1y}=(n_1-n_2)p\sin\theta$

从小球出射时的总动量为 $p_{2y}=0$

根据动量定理:$F_y\Delta t=p_{2y}-p_{1y}=-(n_1-n_2)p\sin\theta$

可知,小球对这些粒子的作用力 F_y 的方向沿 y 轴负方向,根据牛顿第三定律,两光束对小球的作用力沿 y 轴正方向。

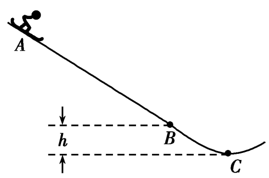
所以两光束对小球的合力的方向指向左上方。

解题指导 (1)将速度沿 x 轴和 y 轴两个方向分解,然后求解 Δp_x 与 Δp_y。

(2)运用动量定理确定两个轴向的作用力方向,再进行合成分析。

疑难突破 光强不同,体现单位时间内发射的光子个数不同。

12.(2018北京理综,22,16分)2022年将在我国举办第二十四届冬奥会,跳台滑雪是其中最具观赏性的项目之一。某滑道示意图如下,长直助滑道 AB 与弯曲滑道 BC 平滑衔接,滑道 BC 高 $h=10$ m,C 是半径 $R=20$ m 圆弧的最低点。质量 $m=60$ kg的运动员从 A 处由静止开始匀加速下滑,加速度 $a=4.5$ m/s²,到达 B 点时速度 $v_B=30$ m/s。取重力加速度 $g=10$ m/s²。



(1)求长直助滑道 AB 的长度 L;

(2)求运动员在 AB 段所受合外力的冲量 I 的大小;

(3)若不计 BC 段的阻力,画出运动员经过 C 点时的受力图,并求其所受支持力 F_N 的大小。

答案 (1)100 m (2)1 800 N·s

(3)受力图见解析 3 900 N

解析 (1)根据匀变速直线运动公式,有 $L=\dfrac{v_B^2-v_A^2}{2a}=100$ m

(2)根据动量定理,有 $I=mv_B-mv_A=1\ 800$ N·s

(3)运动员经 C 点时的受力分析如图



根据动能定理,运动员在 BC 段运动的过程中,有

$mgh=\dfrac{1}{2}mv_C^2-\dfrac{1}{2}mv_B^2$

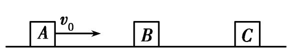
根据牛顿第二定律,有

$F_N-mg=m\dfrac{v_C^2}{R}$

得 $F_N=3\ 900$ N

一题多解 运动员在 AB 段所受合外力的冲量 $I=F_合 t=ma\cdot\dfrac{v_B-v_A}{a}=1\ 800$ N·s。

13.[2015山东理综,39(2)]如图,三个质量相同的滑块 A、B、C,间隔相等地静置于同一水平直轨道上。现给滑块 A 向右的初速度 v_0,一段时间后 A 与 B 发生碰撞,碰后 A、B 分别以 $\dfrac{1}{8}v_0$、$\dfrac{3}{4}v_0$ 的速度向右运动,B 再与 C 发生碰撞,碰后 B、C 粘在一起向右运动。滑块 A、B 与轨道间的动摩擦因数为同一恒定值。两次碰撞时间均极短。求 B、C 碰后瞬间共同速度的大小。



答案 $\dfrac{\sqrt{21}}{16}v_0$

解析 设滑块质量为 m,A 与 B 碰撞前 A 的速度为 v_A,由题意知,碰后 A 的速度 $v_A'=\dfrac{1}{8}v_0$,B 的速度 $v_B=\dfrac{3}{4}v_0$,由动量守恒定律得

$mv_A=mv_A'+mv_B$ ①

设碰撞前 A 克服轨道阻力所做的功为 W_A,由功能关系得

$W_A=\dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}mv_A^2$ ②

设 B 与 C 碰撞前 B 的速度为 v_B',B 克服轨道阻力所做的功为 W_B,由功能关系得

$W_B=\dfrac{1}{2}mv_B^2-\dfrac{1}{2}mv_B'^2$ ③

据题意可知

$W_A=W_B$ ④

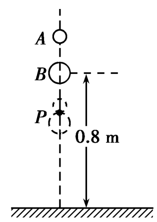
设 B、C 碰后瞬间共同速度的大小为 v,由动量守恒定律得

$mv_B'=2mv$ ⑤

联立①②③④⑤式,代入数据得

$v=\dfrac{\sqrt{21}}{16}v_0$ ⑥

14.[2014课标Ⅰ,35(2),9分]如图,质量分别为 m_A、m_B 的两个弹性小球 A、B 静止在地面上方,B 球距地面的高度 $h=0.8$ m,A 球在 B 球的正上方。先将 B 球释放,经过一段时间后再将 A 球释放。当 A 球下落 $t=0.3$ s 时,刚好与 B 球在地面上方的 P 点处相碰,碰撞时间极短,碰后瞬间 A 球的速度恰为零。已知 $m_B=3m_A$,重力加速度大小 $g=10$ m/s²,忽略空气阻力及碰撞中的动能损失。求



(ⅰ)B 球第一次到达地面时的速度;

(ⅱ)P 点距离地面的高度。

答案 (ⅰ)4 m/s (ⅱ)0.75 m

解析 (ⅰ)设 B 球第一次到达地面时的速度大小为 v_B,由运动学公式有 $v_B=\sqrt{2gh}$ ①

将 $h=0.8$ m 代入上式,得 $v_B=4$ m/s ②

(ⅱ)设两球相碰前后,A 球的速度大小分别为 v_1 和 v_1'($v_1'=0$),B 球的速度分别为 v_2 和 v_2'。由运动学规律可得

$v_1=gt$ ③

由于碰撞时间极短,重力的作用可以忽略,两球相碰前后的动量守恒,总动能保持不变。规定向下的方向为正,有

$m_Av_1+m_Bv_2=m_Bv_2'$ ④

$\dfrac{1}{2}m_Av_1^2+\dfrac{1}{2}m_Bv_2^2=\dfrac{1}{2}m_Bv_2'^2$ ⑤

设 B 球与地面相碰后的速度大小为 v_B',由运动学及碰撞的规律可得 $v_B'=v_B$ ⑥

设 P 点距离地面的高度为 h',由运动学规律可得

$h'=\dfrac{v_B'^2-v_2^2}{2g}$ ⑦

联立②③④⑤⑥⑦式,并代入已知条件可得

$h'=0.75$ m ⑧

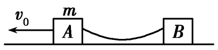
解题思路 (1)A、B 两球均从静止释放,B 球第一次到达地面前做自由落体运动。

(2)B 球先释放且释放位置比 A 球低,故只能是 B 球从地面反弹后,在上升过程中与 A 球在 P 点碰撞,由此运动情况可求出 P 点距离地面的高度。

(3)A、B 两球均为弹性小球且碰撞时间极短,故两球发生弹性碰撞,动量和动能均守恒。

(4)碰后瞬间 A 球的速度恰为零。

15.[2014山东理综,39(2)]如图,光滑水平直轨道上两滑块 A、B 用橡皮筋连接,A 的质量为 m。开始时橡皮筋松弛,B 静止,给 A 向左的初速度 v_0。一段时间后,B 与 A 同向运动发生碰撞并粘在一起。碰撞后的共同速度是碰撞前瞬间 A 的速度的两倍,也是碰撞前瞬间 B 的速度的一半。求:



（ⅰ）B 的质量；

（ⅱ）碰撞过程中 A、B 系统机械能的损失。

答案　（ⅰ）$\frac{m}{2}$　（ⅱ）$\frac{1}{6}mv_0^2$

解析　（ⅰ）以初速度 v_0 的方向为正方向，设 B 的质量为 m_B，A、B 碰撞后的共同速度为 v，由题意知：碰撞前瞬间 A 的速度为 $\frac{v}{2}$，碰撞前瞬间 B 的速度为 $2v$，由动量守恒定律得

$m\frac{v}{2}+2m_Bv=(m+m_B)v$　①

由①式得

$m_B=\frac{m}{2}$　②

（ⅱ）从开始到碰后的全过程，由动量守恒定律得

$mv_0=(m+m_B)v$　③

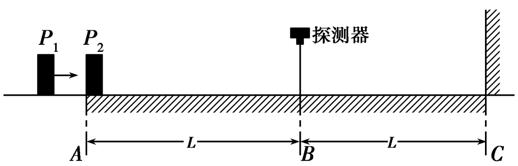
设碰撞过程 A、B 系统机械能的损失为 ΔE，则

$\Delta E=\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2+\frac{1}{2}m_B(2v)^2-\frac{1}{2}(m+m_B)v^2$　④

联立②③④式得

$\Delta E=\frac{1}{6}mv_0^2$　⑤

16.（2014 广东理综，35，18 分）如图的水平轨道中，AC 段的中点 B 的正上方有一探测器，C 处有一竖直挡板，物体 P_1 沿轨道向右以速度 v_1 与静止在 A 点的物体 P_2 碰撞，并接合成复合体 P，以此碰撞时刻为计时零点，探测器只在 $t_1=2$ s 至 $t_2=4$ s 内工作，已知 P_1、P_2 的质量都为 $m=1$ kg，P 与 AC 间的动摩擦因数为 $\mu=0.1$，AB 段长 $L=4$ m，g 取10 m/s^2，P_1、P_2 和 P 均视为质点，P 与挡板的碰撞为弹性碰撞。



（1）若 $v_1=6$ m/s，求 P_1、P_2 碰后瞬间的速度大小 v 和碰撞损失的动能 ΔE；

（2）若 P 与挡板碰后，能在探测器的工作时间内通过 B 点，求 v_1 的取值范围和 P 向左经过 A 点时的最大动能 E。

答案　（1）3 m/s　9 J　（2）10 m/s$\leqslant v_1\leqslant$14 m/s　17 J

解析　（1）P_1、P_2 碰撞过程，动量守恒

$mv_1=2mv$　①

解得 $v=\frac{v_1}{2}=3$ m/s　②

碰撞损失的动能 $\Delta E=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}(2m)v^2$　③

解得 $\Delta E=9$ J　④

（2）根据牛顿第二定律，P 做匀减速运动，加速度为 $a=\frac{\mu\cdot 2mg}{2m}$　⑤

设 P_1、P_2 碰撞后的共同速度为 $v_共$，则推得 $v_共=\frac{v_1}{2}$　⑥

把 P 与挡板碰撞前后运动过程当做整体运动过程处理

经过时间 t_1，P 运动过的路程为 s_1，则 $s_1=v_共 t_1-\frac{1}{2}at_1^2$　⑦

经过时间 t_2，P 运动过的路程为 s_2，则 $s_2=v_共 t_2-\frac{1}{2}at_2^2$　⑧

如果 P 能在探测器工作时间内通过 B 点，必须满足

$s_1\leqslant 3L\leqslant s_2$　⑨

联立⑤⑥⑦⑧⑨得 10 m/s$\leqslant v_1\leqslant$14 m/s　⑩

v_1 的最大值为 14 m/s，此时 $v_共=7$ m/s，根据动能定理知

$-\mu\cdot 2mg\cdot 4L=E-\frac{1}{2}\cdot 2mv_共^2$

代入数据得 $E=17$ J

2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 240

时间：45 分钟　分值：80 分

一、选择题（每小题 6 分，共 54 分）

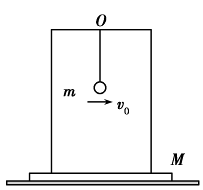
1.（2019 河南平顶山一模，16）质量为 m 的小球被水平抛出，经过一段时间后小球的速度大小为 v，若此过程中重力的冲量大小为 I，重力加速度为 g，不计空气阻力的大小，则小球抛出时的初速度大小为（　　）

A.$v-\frac{I}{m}$　　B.$v-\frac{I}{mg}$

C.$\sqrt{v^2-\frac{I^2}{m^2}}$　　D.$\sqrt{v^2-\frac{I^2}{m^2g^2}}$

答案　C　由题意知，$I=mgt$，知 $t=\frac{I}{mg}$，经过 t 时间，小球竖直方向的速度大小为 $v_y=gt=\frac{I}{m}$，根据速度分解可知，初速度大小 $v_0=\sqrt{v^2-\frac{I^2}{m^2}}$，C 项正确。

2.（2020 届陕西西安中学期中，7）如图所示，总质量为 M、带有底座的足够宽框架直立在光滑水平面上，质量为 m 的小球通过细线悬挂于框架顶部 O 处，细线长为 L，已知 $M>m$，重力加速度为 g，某时刻小球获得一瞬时速度 v_0，当小球第一次回到 O 点正下方时，细线拉力大小为（　　）



A.mg　　B.$mg+\frac{mv_0^2}{L}$

C.$mg+m\frac{(2m)^2v_0^2}{(M+m)^2L}$　　D.$mg+m\frac{(M-m)^2v_0^2}{(M+m)^2L}$

答案　B　本题考查了动量守恒、机械能守恒、牛顿运动定律，体现了物理观念中的运动与相互作用观念、能量观念。

小球与框架水平方向动量守恒 $mv_0=mv_1+Mv_2$

系统机械能守恒

$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$

解得 $v_1=\frac{m-M}{m+M}v_0$

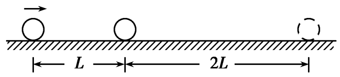
$v_2=\frac{2m}{m+M}v_0$

此时小球受重力和细线的拉力

$T-mg=m\frac{v^2}{L}$（v 为小球相对于悬点的速度）

$T=mg+m\frac{v_0^2}{L}$

3.(2018福建泉州检测)如图所示,两个大小相同、质量均为 m 的弹珠静止在水平地面上。某小孩在极短时间内给第一个弹珠水平冲量使其向右运动,当第一个弹珠运动了距离 L 时与第二个弹珠发生弹性正碰,碰后第二个弹珠运动了 $2L$ 距离停下。已知弹珠所受阻力大小恒为重力的 k 倍,重力加速度为 g,则小孩对第一个弹珠 ( )



A.施加的冲量为 $m\sqrt{kgL}$

B.施加的冲量为 $m\sqrt{3kgL}$

C.做的功为 $kmgL$

D.做的功为 $3kmgL$

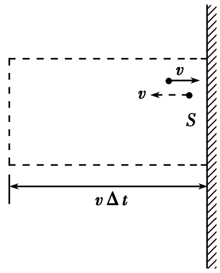
答案 D 当第一个弹珠运动了距离 L 时与第二个弹珠发生弹性正碰,根据动量守恒和能量守恒可知,两弹珠速度发生交换,即第一个弹珠碰后停止运动,第二个弹珠以第一个弹珠碰前的速度继续向前运动了 $2L$ 距离停下,从效果上看,相当于第二个弹珠不存在,第一个弹珠直接向前运动了 $3L$ 的距离后停止运动,根据动能定理可知,小孩对第一个弹珠做的功等于弹珠获得的动能,也等于克服阻力做的总功,即:$W=E_k=kmg\cdot 3L$,选项C错误,选项D正确;施加的冲量 $I=\Delta p=p-0=\sqrt{2mE_k}-0=\sqrt{2m\cdot kmg\cdot 3L}=m\sqrt{6kgL}$,选项A、B错误。

4.(2020届四川双流中学模拟,16)对于同一物理问题,常常可以从宏观与微观两个不同角度进行研究,找出其内在联系,从而更加深刻地理解其物理本质。正方体密闭容器中有大量运动粒子,每个粒子质量为 m,单位体积内粒子数量 n 为恒量。为简化问题,我们假定:粒子大小可以忽略;其速率均为 v,且与器壁各面碰撞的机会均等;与器壁碰撞前后瞬间,粒子速度方向都与器壁垂直,且速率不变。利用所学力学知识,导出器壁单位面积所受粒子压力 f 与 m、n 和 v 的关系正确的是 ( )

A.$f=\frac{1}{2}nmv^2$ B.$f=\frac{1}{3}nmv^2$ C.$f=\frac{1}{4}nmv^2$ D.$f=\frac{1}{6}nmv^2$

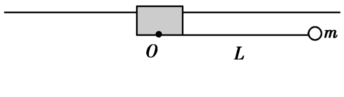
答案 B 本题考查了用动量定理解决连续体问题,体现了科学思维中运动与相互作用要素。

一个粒子每与器壁碰撞一次给器壁的冲量 $\Delta I=2mv$,如图所示,



以器壁上面积为 S 的部分为底、$v\Delta t$ 为高构成柱体,由题设可知,其内有 $\frac{1}{6}$ 的粒子在 Δt 时间内与器壁上面积为 S 的部分发生碰撞,碰撞粒子总数 $N=\frac{1}{6}n\cdot Sv\Delta t$,$\Delta t$ 时间内粒子给器壁的冲量 $I=N\cdot\Delta I=\frac{1}{3}nSmv^2\Delta t$,器壁上面积为 S 的部分受到粒子的压力 $F=\frac{I}{\Delta t}$,则器壁单位面积所受粒子的压力 $f=\frac{F}{S}=\frac{1}{3}nmv^2$,故选项B正确。

5.(2019河南省实验中学三模,5)如图所示,质量 $M=3$ kg 的滑块套在水平固定着的轨道上并可在轨道上无摩擦滑动。质量 $m=2$ kg的小球(视为质点)通过长 $L=0.5$ m 的轻杆与滑块上的光滑轴 O 连接,开始时滑块静止,轻杆处于水平状态,现让小球从静止开始释放,取 $g=10\ m/s^2$,下列说法正确的是 ( )



A.小球从初始位置到第一次到达最低点的过程中,轻杆对小球的弹力一直沿杆方向

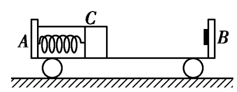
B.小球从初始位置到第一次到达最低点时,小球的速度大小为 $\sqrt{10}$ m/s

C.小球从初始位置到第一次到达最低点的过程中,滑块在水平轨道上向右移动了0.2 m

D.小球上升到的最高位置比初始位置低

答案 C 小球从初始位置到第一次到达最低点的过程中,小球和滑块系统水平方向动量守恒,则 $mv_1=Mv_2$,由能量关系有 $mgL=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$,联立解得 $v_1=\sqrt{6}$ m/s,$v_2=\frac{2}{3}\sqrt{6}$ m/s,选项B错误;因小球向下摆动时不是做圆周运动,可知轻杆对小球的弹力不是一直沿杆方向,选项A错误;小球从初始位置到第一次到达最低点的过程中,设滑块在水平轨道上向右移动的距离为 x,取向左为正方向,根据水平方向动量守恒得 $0=m\frac{L-x}{t}-M\frac{x}{t}$,得 $x=\frac{mL}{m+M}=\frac{2\times 0.5}{2+3}$ m$=0.2$ m,故C正确;小球上升到最大高度时,小球和滑块具有共同速度,由于系统初始动量为零,则到达最大高度时的共同速度也为零,由能量守恒关系可知,小球还能上升到原来的高度,选项D错误。故选C。

6.(2020届河南南阳联考,18)(多选)如图所示,小车 AB 放在光滑水平面上,A 端固定一个轻弹簧,B 端粘有油泥,AB 总质量为 M,质量为 m 的木块 C 放在小车上,用细绳连接于小车的 A 端并使弹簧压缩,开始时 AB 和 C 都静止,当突然烧断细绳时,C 被释放,C 离开弹簧向 B 端冲去,并跟 B 端油泥粘在一起,忽略一切摩擦,下列说法正确的是 ( )



A.弹簧伸长过程中 C 向右运动,同时 AB 也向右运动

B.C 与 B 碰前,C 与 AB 的速率之比为 $M:m$

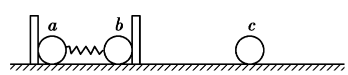
C.C 与油泥粘在一起后,AB 立即停止运动

D.C 与油泥粘在一起后,AB 继续向右运动

答案 BC 本题考查了弹簧模型和碰撞模型,体现了科学思维中的科学论证要素。

AB 与 C 组成的系统在水平方向上动量守恒,C 向右运动时,AB 应向左运动,故A错误;设碰前 C 的速率为 v_1,AB 的速率为 v_2,则 $0=mv_1-Mv_2$,得 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{M}{m}$,故B正确;设 C 与油泥粘在一起后,AB、C 的共同速度为 $v_{共}$,则 $0=(M+m)v_{共}$,得 $v_{共}=0$,故C正确,D错误。

7.(2019江西红色七校二模,18)在光滑水平面上有三个小钢球 a、b、c 处于静止状态,质量分别为 $2m$、m、$2m$。其中 a、b 两球间夹一被压缩的弹簧,两球被左右两边的光滑挡板束缚着。若某时刻将挡板撤掉,弹簧便把 a、b 两球弹出,两球脱离弹簧后,a 球获得的速度大小为 v,若 b、c 两球相距足够远,则 b、c 两球发生弹性碰撞后 ( )



A.b 球的速度大小为 $\frac{1}{3}v$,运动方向与原来相反

B.b 球的速度大小为 $\frac{2}{3}v$,运动方向与原来相反

C.c 球的速度大小为 $\frac{8}{3}v$

D.c 球的速度大小为 $\frac{2}{3}v$

答案 B 设 b 球脱离弹簧时的速度为 v_0,b、c 两球相碰后

b、c 的速度分别为 v_b 和 v_c，取向右为正方向，弹簧将 a、b 两球弹出过程，由动量守恒定律有 $0=-2mv+mv_0$，可得 $v_0=2v$，b、c 两球相碰过程，由动量守恒定律和机械能守恒得 $mv_0=mv_b+2mv_c$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_b^2+\frac{1}{2}\cdot 2mv_c^2$，联立计算得出 $v_b=-\frac{2}{3}v$（负号表示方向向左，与原来相反），$v_c=\frac{4}{3}v$，所以 B 正确。

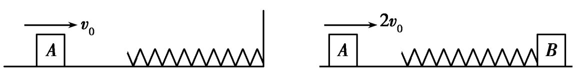
8.（2018 河北石家庄质检）质量分别为 m_1 与 m_2 的甲、乙两球在水平光滑轨道上同向运动，已知它们的动量分别是 $p_1=5\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，$p_2=7\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，甲从后面追上乙并发生碰撞，碰后乙球的动量变为 $8\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，则甲、乙两球质量 m_1 与 m_2 的关系可能是　（　　）

A.$m_1=m_2$　　B.$2m_1=m_2$　　C.$3m_1=2m_2$　　D.$4m_1=m_2$

答案　B　根据动量守恒定律有：$p_1+p_2=p_1'+p_2'$，可得 $p_1'=4\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，碰撞过程中动能不增加，则有 $\frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2}\geqslant\frac{p_1'^2}{2m_1}+\frac{p_2'^2}{2m_2}$，可得 $\frac{m_1}{m_2}\leqslant\frac{3}{5}$，则 A、C 项错误。碰后甲球的速度不大于乙球的速度，则有 $\frac{p_1'}{m_1}\leqslant\frac{p_2'}{m_2}$，可得 $\frac{m_1}{m_2}\geqslant\frac{1}{2}$，则 D 项错误。综上可知，B 项正确。

解题关键　解本题的关键在于要弄清碰撞前、后动能的关系以及碰后甲、乙两球的速度关系。

9.（2018 江西上饶六校一联）（多选）如图甲所示，在光滑水平面上，轻质弹簧一端固定，物体 A 以速度 v_0 向右运动压缩弹簧，测得弹簧的最大压缩量为 x，现让弹簧一端连接另一质量为 m 的物体 B（如图乙所示），物体 A 以 $2v_0$ 的速度向右压缩弹簧，测得弹簧的最大压缩量仍为 x，则　（　　）



甲　　　　乙

A.A 物体的质量为 $3m$

B.A 物体的质量为 $2m$

C.弹簧压缩量最大时的弹性势能为 $\frac{3}{2}mv_0^2$

D.弹簧压缩量最大时的弹性势能为 mv_0^2

答案　AC　弹簧一端固定，当弹簧压缩量最大时，弹性势能最大，A 的动能转化为弹簧的弹性势能，A 及弹簧组成的系统机械能守恒，则知弹簧被压缩过程中最大的弹性势能等于 A 的初动能，设 A 的质量为 m_A，则有：

$$E_{pm}=\frac{1}{2}m_Av_0^2$$

当弹簧一端连接另一质量为 m 的物体 B 时，A 与弹簧相互作用的过程中 B 将向右运动，A、B 速度相等时，弹簧的弹性势能最大，选取 A 的初速度的方向为正方向，由动量守恒定律得：$m_A\cdot 2v_0=(m+m_A)v$

由机械能守恒定律得：$E_{pm}=\frac{1}{2}m_A(2v_0)^2-\frac{1}{2}(m_A+m)v^2$

解得：$m_A=3m$，$E_{pm}=\frac{3}{2}mv_0^2$

故 A、C 正确，B、D 错误。

二、非选择题（共 26 分）

10.（12 分）（2018 山西太原一模）弹射座椅是飞行员使用的座椅型救生装置。在飞机失控时，依靠座椅上的动力（喷气发动机）装置将飞行员弹射到高空，然后张开降落伞使飞行员安全降落。某次实验中，在地面上静止的战斗机内，飞行员按动弹射按钮，座椅（连同飞行员等）在喷气发动机的驱动下被弹出打开的机舱，座椅沿竖直方向运动，5 s 末到达最高点，上升的总高度为 112.5 m。在最高点时降落伞打开，飞行员安全到达地面。已知座椅的总质量为 100 kg，弹射过程中发动机对座椅的推力竖直向上且恒定，不考虑发动机质量的变化及空气阻力，取 $g=10\ \text{m/s}^2$，求：

（1）发动机对座椅推力的值；

（2）发动机对座椅冲量的大小。

答案　（1）1.0×10^4 N　（2）5×10^3 N·s

解析　（1）设座椅上升时的最大速度为 v_m，由运动学公式，有：

$$h_m=\frac{1}{2}v_mt$$

设发动机作用的时间为 t_1，座椅的加速度为 a_1，发动机的推力为 N，减速过程的时间为 t_2，则有

$N-mg=ma_1$

$v_m=a_1t_1$

$v_m=gt_2$

$t_1+t_2=t$

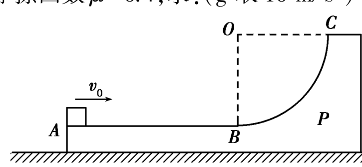
解得：$N=10mg=1.0\times10^4$ N

（2）设发动机对座椅冲量的大小为 I，则有

$I=Nt_1$

解得：$I=5\times10^3$ N·s

11.（14 分）（2018 东北三校联考，13）如图所示，右端是四分之一圆弧的装置 P，质量 $M=30$ kg，其水平段 AB 粗糙，圆弧段 BC 光滑，半径 $R=0.4$ m。现将 P 固定在光滑的水平地面上，一质量 $m=10$ kg 的小物块（可视为质点）以速度 $v_0=4$ m/s 从 A 端沿水平方向滑上 P，恰能运动到圆弧的最高点 C，物块与 AB 段的动摩擦因数 $\mu=0.4$，求：（g 取 $10\ \text{m/s}^2$）



（1）AB 段的长度 L；

（2）若 P 不固定，物块在圆弧面上能上升的最大高度 h；

（3）在满足（2）的条件下，通过计算判断物块是否会从 P 上掉落，若不掉落，最终物块距 A 点多远？

答案　（1）1 m　（2）0.2 m　（3）见解析

解析　（1）物块从 A 到 C 的过程中，根据动能定理得

$$-\mu mgL-mgR=0-\frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $L=1$ m。

（2）物块在装置 P 上滑动过程，系统水平方向动量守恒，取水平向右为正方向，由动量守恒定律有

$mv_0=(M+m)v$

由功能关系有 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}(M+m)v^2+mgh+\mu mgL$

解得 $h=0.2$ m。

（3）假设物块不会从装置 P 上滑下，设物块在装置 P 上 AB 段滑动的路程为 s，物块和装置 P 组成的系统动量守恒，有

$mv_0=(M+m)v'$

若物块最终停止在装置 P 上，由功能关系有

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}(M+m)v'^2+\mu mgs$$

解得 $s=1.5$ m

由于 $s<2L$，所以物块不会从 P 上滑下，最终物块停止在距离 A 点 0.5 m 处。

专题八 电场

探考情 悟真题

5年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 82

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
电场力的性质	库仑定律的应用	2019 课标Ⅰ,15,6 分	3	力的平衡	运动与相互作用观念		★★☆
		2018 课标Ⅰ,16,6 分	3	力的合成	运动与相互作用观念		
	电场强度的计算	2017 课标Ⅲ,21,6 分	3		能量观念	等分法	
		2017 课标Ⅰ,20,6 分	3		能量观念		
电场能的性质	电场强度、电势、电势差、电势能的关系	2019 课标Ⅱ,20,6 分	3	能量守恒	能量观念		★★★
		2019 课标Ⅱ,24,12 分	4	动能定理	能量观念	类比法	
		2019 课标Ⅲ,21,6 分	3		能量观念		
		2019 课标Ⅲ,24,12 分	4	动能定理	能量观念		
		2019 天津理综,3,6 分	3	动能定理	能量观念		
		2019 北京理综,17,6 分	4		模型建构		
		2019 北京理综,23,18 分	4	闭合电路欧姆定律	能量观念	图像法	
		2019 天津理综,12,20 分	4	动能定理	能量观念	微元法	
		2019 江苏单科,5,3 分	2	P-t 图像	能量观念	图像法	
		2019 江苏单科,9,4 分	3		能量观念		
		2018 课标Ⅱ,21,6 分	3		能量观念		
		2016 课标Ⅲ,15,6 分	4		能量观念	类比法	
		2015 课标Ⅱ,24,12 分	4	动能定理	模型建构		
	带电粒子运动轨迹类问题的处理	2016 课标Ⅰ,20,6 分	3	动能定理	模型建构		
		2016 课标Ⅱ,15,6 分	3	动能定理	运动与相互作用观念		
		2018 天津理综,3,6 分	3	牛顿第二定律	运动与相互作用观念		
		2017 天津理综,7,6 分	4		运动与相互作用观念		
	电场力的功	2018 课标Ⅰ,21,6 分	4	动能	模型建构		
		2015 课标Ⅰ,15,6 分	4		能量观念		

续表

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
电容器、带电粒子在电场中的运动	平行板电容器的动态分析	2015 课标Ⅱ,14,6 分	4	力的平衡	模型建构		★★★
		2018 北京理综,19,6 分	3		科学推理		
		2016 天津理综,4,6 分	3		运动与相互作用观念		
	带电粒子在电场中的运动	2017 课标Ⅱ,25,20 分	4	动能定理	科学推理		
		2017 课标Ⅰ,25,20 分	4	牛顿运动定律	科学推理		
		2015 课标Ⅱ,24,12 分	4	动能定理	能量观念		
		2015 安徽理综,23,16 分	4	匀速直线运动	模型建构	类比法	
	示波管的构造和原理	2015 天津理综,7,6 分	3	动能定理	模型建构		
		2016 北京理综,23,18 分	4	功能关系	模型建构		

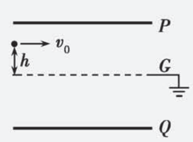
分析解读

本专题主要研究静电场的基本性质及带电粒子在静电场中的运动问题。场强和电势是分别描述电场的力的性质和能的性质的两个物理量。正确理解场强和电势的物理意义,是掌握好本专题知识的关键。电势能、电场力做功、电势能的变化等是电场能的性质讨论的延伸,带电粒子在电场中的运动问题则是电场上述两性质的综合运用。在复习中应重视对基本概念及规律的理解;注重知识的实际应用,如带电粒子在电场中的加速、偏转以及电容器的有关知识在实际生产、生活中的应用。加强本专题知识与其他物理知识的综合应用,如带电粒子在复合场中的运动。掌握处理较为复杂的物理问题的方法,如类比、等效、建立模型等思维方法。

真题探秘

对应学生用书起始页码 83

(2019课标Ⅱ，24，12分)如图，两金属板P、Q水平放置，间距为d。两金属板正中间有一水平放置的金属网G，P、Q、G的尺寸相同。G接地，P、Q的电势均为φ($\varphi>0$)。质量为m、电荷量为q($q>0$)的粒子自G的左端上方距离G为h的位置，以速度v_0平行于纸面水平射入电场，重力忽略不计。



(1)求粒子第一次穿过G时的动能，以及它从射入电场至此时在水平方向上的位移大小；

(2)若粒子恰好从G的下方距离G也为h的位置离开电场，则金属板的长度最短应为多少？

创设试题情景：上下为两个平行板电容器

给定第一个条件：平行板电容器两板间的距离

给定第二个条件：电势为零

给定第三个条件：只在电场力的作用下做类平抛运动

带电粒子在电场中的运动为类平抛运动，求其水平方向的位移

隐含着对称原理解决问题

❶ 核心要点

带电粒子在电场中的偏转、平行板电容器场强与电势差的关系。

❷ 情景解读

从实际情景中抽象出完全对称的两个平行板电容器，带电粒子在两电容器中做对称的平抛运动。

❸ 思路分析

根据关键信息构建出两个完全对称的两个平行板电容器，P、G间的场强方向向下，Q、G间的场强方向向上。由$E=qU$求出场强E，由动能定理可求第一次穿过G的动能。由类平抛运动可求第一次的水平位移，再结合对称原理求出金属板的最短长度。

❹ 素养目标

在实际情景中抽象物理模型的能力。

灵活应用电场中的类平抛规律的能力。

❺ 答案

详细解析见174页5年高考B组第6题

破考点 练考向 考点考向清单 考点题霸集训

考点清单 对应学生用书起始页码84

考点一 电场力的性质

考向基础

一、电荷与电荷守恒定律

1.元电荷:最小的电荷量叫做元电荷,用 e 表示,$e=1.60\times10^{-19}$ C,最早由美国物理学家密立根测得。所有带电体的电荷量都是元电荷的整数倍。

2.点电荷

当带电体间的距离比它们自身的大小大得多,以至于带电体的形状、大小及电荷分布对它们之间相互作用力的影响可以忽略不计时,这样的带电体就可以看做带电的点,叫做点电荷。类似于力学中的质点,也是一种理想化的模型。

3.电荷守恒定律

(1)以前的表述:电荷既不能创生,也不能消灭,它只能从一个物体转移到另一个物体或从物体的一部分转移到另一部分,在转移的过程中,电荷的总量保持不变。

(2)现在的表述:一个与外界没有电荷交换的系统,电荷的代数和保持不变。

(3)当完全相同的两带电金属球接触时电荷的分配规律:同种电荷总量平均分配,异种电荷先中和后平分。

二、静电现象

1.三种起电方式的比较

	摩擦起电	感应起电	接触起电
产生条件	两种不同绝缘体摩擦	导体靠近带电体	导体与带电体接触
现象	两物体带上等量异种电荷	导体两端出现等量异种电荷,且电性与原带电体"近异远同"	导体带上与带电体相同电性的电荷
原因	不同物质的原子核对核外电子的束缚能力不同而发生电子得失	导体中的自由电子受带正(负)电物体吸引(排斥)而靠近(远离)	自由电荷在带电体与导体之间发生转移
实质	电荷在物体之间或物体内部的转移		

2.静电平衡

(1)导体中(包括表面)没有电荷定向移动的状态叫做静电平衡状态。

(2)处于静电平衡状态的导体的特点

a.内部场强处处为0,其实质是感应电荷的电场的场强 $E_{感}$ = (填"="或"≠")外电场在导体内的场强 $E_{外}$。表面场强的方向与该表面垂直。

b.表面和内部各点电势相等,即整个导体是一个等势体,导体表面是一个等势面。

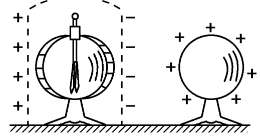
c.导体内部没有电荷,电荷只分布在导体的外表面。

d.在导体外表面越尖锐的位置,电荷的密度越大,凹陷处几乎没有电荷。

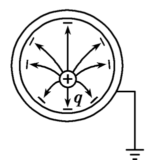
3.静电屏蔽

(1)两种现象

内屏蔽:由于静电感应,导体外表面感应电荷的电场与外电场在导体内部任一点的场强的叠加结果为零,从而外部电场影响不到导体内部,如图所示。



外屏蔽:由于静电感应,接地导体壳内表面感应电荷的电场与壳内电场在导体壳外表面以外空间叠加结果为零,从而使接地的封闭导体壳内部电场对壳外空间没有影响,如图所示。



(2)应用:有的电学仪器和电子设备外面套有金属罩,有的通信电缆的外面包有一层铅皮等都是用来起屏蔽作用的。

三、库仑定律

1.内容:真空中两个静止点电荷之间的相互作用力,与它们的电荷量的乘积成正比,与它们之间距离的二次方成反比,作用力的方向在两点电荷的连线上。

2.公式:$F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$,式中的 $k=9\times10^9$ N·m²/C²,叫静电力常量。

3.适用条件:点电荷;真空中。

四、电场、电场强度

1.电场:电场是电荷周围存在的一种物质,电场对放入其中的电荷有力的作用。静止电荷产生的电场称为静电场。

2.电场强度

(1)定义:放入电场中某点的电荷受的电场力 F 与它的电荷量 q 的比值。

(2)公式:$E=\frac{F}{q}$。

思考:根据表达式 $E=\frac{F}{q}$,能说场强 E 与 q 成反比,与 F 成正比吗?为什么?

不能。因电场的场强大小决定于电场本身,而与试探电荷的受力和所带电荷量无关。$E=F/q$ 为场强的定义式,非决定式。

(3)单位:N/C 或 V/m。

(4)矢量性:规定正电荷在电场中某点所受电场力的方向为该点电场强度的方向。

(5)叠加性:如果有几个静止电荷在空间同时产生电场,那么空间某点的场强是各场源电荷单独存在时在该点所产生的场强的矢量和。

3.点电荷场强的计算式

(1)设在场源点电荷 Q 形成的电场中,有一点 P 与 Q 相距 r,则 P 点的场强 $E=k\frac{Q}{r^2}$。

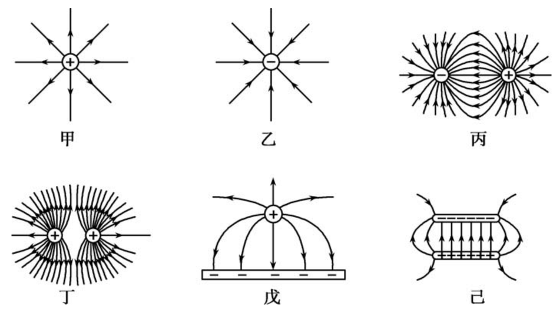
(2)适用条件:真空中的点电荷形成的电场。

五、电场线

1.电场线及其特点

电场线	电场线是画在电场中的一条条有方向的曲线,曲线上每点的切线方向表示该点的电场强度方向,电场线不是实际存在的线,而是为了描述电场而假想的线
电场线的特点	(1)电场线从正电荷出发,终止于负电荷(或无限远处);或从无限远处出发,终止于负电荷 (2)电场线在电场中不相交,不相切 (3)在同一电场里,电场线越密的地方场强越大 (4)电场线不是电荷的运动轨迹,一般不与运动轨迹重合

2.几种典型电场的电场线



3.电场线的用法

(1)利用电场线可以判断场强的大小

电场线的疏密程度表示场强的大小。同一电场中,电场线越密集处场强越大。

(2)利用电场线可以判定场强的方向

电场线的切线方向表示场强的方向。

(3)利用电场线可以判定场源电荷的电性及电荷量多少

电场线起始于带正电的电荷或无限远,终止于无限远或带负电的电荷。场源电荷所带电荷量越多,发出或终止的电场线条数越多。

(4)利用电场线可以判定电势的高低

沿电场线方向电势是逐渐降低的。

(5)利用电场线可以判定自由电荷在电场中受力情况、移动方向等

先由电场线大致判定场强的大小与方向,再结合自由电荷的电性确定其所受电场力方向,再分析自由电荷移动方向、形成电流的方向等。

考向突破

考向一　库仑定律的应用

1.三个点电荷在相互间作用力作用下处于平衡时的规律

规律一:三个点电荷的位置关系是“同号在两边,异号在中间”。

如果三个点电荷只在库仑力的作用下能够处于平衡状态,则这三个点电荷一定处于同一直线上,且有两个是同号电荷,一个是异号电荷,两个同号电荷在异号电荷的两边。

规律二:中间的电荷所带电荷量是三个点电荷中电荷量最小的;两边同号电荷谁的电荷量小,中间异号电荷就距谁近一些。

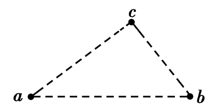
$$q_1:q_2:q_3=\frac{1}{r_2^2}:\frac{1}{(r_1+r_2)^2}:\frac{1}{r_1^2}$$

三个自由电荷都处于平衡状态时,则口诀概括为“三点共线,两同夹异(同号在两边,异号在中间),两大夹小,近小远大”。由此可以迅速、准确地确定三个电荷的相对位置及电性。

2.静电力作用下的“力学问题”

库仑定律与力学的综合应用问题解决的思路与解决力学问题的思路相同,即:选择研究对象,受力分析,利用平衡条件或牛顿运动定律列方程求解,但需注意库仑力的特点,特别是在动态平衡问题、匀速运动问题中,带电体间距离发生变化时,库仑力也要发生变化,要分析力与运动的相互影响。

例1　(2018课标Ⅰ,16,6分)如图,三个固定的带电小球a、b和c,相互间的距离分别为$ab=5$ cm,$bc=3$ cm,$ca=4$ cm。小球c所受库仑力的合力的方向平行于a、b的连线。设小球a、b所带电荷量的比值的绝对值为k,则　(　　)



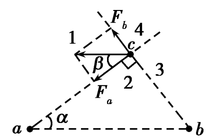
A.a、b的电荷同号,$k=\frac{16}{9}$

B.a、b的电荷异号,$k=\frac{16}{9}$

C.a、b的电荷同号,$k=\frac{64}{27}$

D.a、b的电荷异号,$k=\frac{64}{27}$

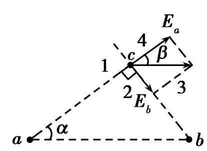
解析　本题考查库仑定律及矢量合成。若a、b的电荷同号,则c所受库仑力的合力指向2或4区域;若a、b的电荷异号,则c所受库仑力的合力指向1或3区域;故只有a、b的电荷异号,合力方向才能与a、b连线平行。设a带正电荷,b、c带负电荷,c受力如图,$\tan\beta=\tan\alpha=\frac{3}{4}$,$\frac{F_b}{F_a}=\tan\beta$,由库仑定律得$\frac{F_b}{F_a}=\frac{r_{ac}^2\cdot|Q_b|}{r_{bc}^2\cdot|Q_a|}$,联立得$k=\left|\frac{Q_a}{Q_b}\right|=\frac{64}{27}$。故A、B、C三项均错误,D项正确。



答案　D

一题多解　电场强度叠加法

球c所受的库仑力的合力方向平行于a、b连线,表明球c处的合电场强度方向平行于a、b连线。若a、b的电荷同号,球c处的合电场强度指向2或4区域;若a、b的电荷异号,球c处的合电场强度指向1或3区域;故a、b的电荷必须异号。设a、c带正电荷,b带负电荷,球c处的电场强度方向如图,$\tan\beta=\tan\alpha=\frac{3}{4}$,由电场强度叠加原理得,$\tan\beta=\frac{E_b}{E_a}$,结合点电荷电场强度公式得$\frac{E_a}{E_b}=\frac{r_{bc}^2\cdot|Q_a|}{r_{ac}^2\cdot|Q_b|}$,联立得$k=\left|\frac{Q_a}{Q_b}\right|=\frac{64}{27}$。故A、B、C三项均错误,D项正确。



考向二　电场强度的计算

1.电场强度的三个计算公式的比较

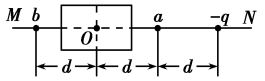
	公式	适用条件	说明
定义式	$E=\frac{F}{q}$	任何电场	某点的场强为确定值,大小及方向与q无关
决定式	$E=k\frac{Q}{r^2}$	真空中点电荷	E由场源电荷Q和场源电荷到某点的距离r决定
关系式	$E=\frac{U}{d}$	匀强电场	d是沿电场线方向的距离

2.叠加法求几个电场的电场强度

当空间的电场由几个点电荷共同激发的时候,空间某点的

电场强度等于每个点电荷单独存在时所激发的电场在该点的场强的矢量和,其合成遵循矢量合成的平行四边形定则。

例 2 如图所示,在点电荷$-q$的电场中,放着一块带有一定电荷量、电荷均匀分布的绝缘矩形薄板,MN为其对称轴,O点为几何中心。点电荷$-q$与a、O、b之间的距离分别为d、$2d$、$3d$。已知图中a点的电场强度为零,则带电薄板在图中b点产生的电场强度的大小和方向分别为 ( )



A.$\frac{kq}{d^2}$,水平向右

B.$\frac{kq}{d^2}$,水平向左

C.$\frac{kq}{d^2}+\frac{kq}{9d^2}$,水平向右

D.$\frac{kq}{9d^2}$,水平向右

解析 薄板在a点的场强与点电荷$-q$在a点的场强等大反向,故大小为$E_a=E_{点}=\frac{kq}{d^2}$,水平向左,由对称性可知,薄板在b点的场强大小$E_b=E_a=\frac{kq}{d^2}$,方向水平向右,选项A正确。

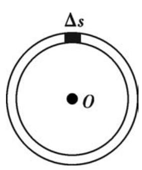
答案 A

3.计算特殊带电体产生的电场强度

(1)补偿法

对于某些物理问题,当直接去解待求的A很困难或没有条件求解时,可设法补上一个B,补偿的原则是使$A+B$成为一个完整的模型,从而使$A+B$变得易于求解,而且,补上去的B也必须容易求解。这样,待求的A便可从两者的差值中获得,问题就迎刃而解了,这就是解物理题时常用的补偿法。用这个方法可算出一些特殊的带电体所产生的电场强度。

例 3 如图所示,半径为R的圆环,均匀带有电荷量为Q的正电荷。先从环上截取Δs的一小段,若$\Delta s\ll R$,且圆环剩余部分的电荷分布不变,则圆环剩余部分的电荷在环心O处产生的场强大小是多少?方向如何?



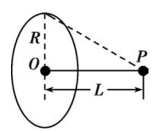
解析 本题采用补偿法,假设将这个圆环缺口补上,并且所补部分的电荷密度与原有缺口的环体上的电荷密度一样,这样就形成一个电荷均匀分布的完整带电圆环,完整的带电圆环在环心O处产生的合场强为零。环心O处的合场强E可以看做长Δs这一小段上的电荷在环心O处产生的场强E_1与圆环其余部分的电荷在环心O处产生的场强E_2的矢量和,即$E=E_1-E_2=0$。因$\Delta s\ll R$,故Δs上带有的电荷可视为点电荷,其电荷量$q=\frac{\Delta sQ}{2\pi R}$,在环心$O$处产生的场强为$E_1=k\frac{q}{R^2}=k\frac{\Delta sQ}{2\pi R^3}$,方向沿$\Delta s$与$O$的连线指向$O$,圆环剩余部分的电荷在环心$O$处产生的场强则为$E_2=E_1=k\frac{\Delta sQ}{2\pi R^3}$,方向沿$\Delta s$与$O$的连线指向$\Delta s$。

答案 $k\frac{\Delta sQ}{2\pi R^3}$ 方向沿Δs与O的连线指向Δs

(2)微元法

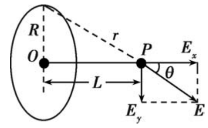
在某些问题中,场源带电体的形状特殊,不能直接求解场源带电体在空间某点所产生的总电场,此时可将场源带电体分割,在高中阶段,这类问题中通常分割后的微元关于某点对称,这就可以利用场的叠加及对称性来解题。

例 4 如图所示,均匀带电圆环所带电荷量为Q,半径为R,圆心为O,P为垂直于圆环平面中心轴上的一点,$OP=L$,试求P点的场强。



解析 设想将圆环看成由n个小段组成,当n相当大时,每一小段都可以看做点电荷,其所带电荷量$Q'=Q/n$,由点电荷场强公式可求得每一小段带电体在P处产生的场强为

$$E=\frac{kQ}{nr^2}=\frac{kQ}{n(R^2+L^2)}。$$



由对称性知,各小段带电体在P处产生的场强大小均为E,且它们垂直于轴的分量E_y相互抵消,而沿轴方向的分量E_x之和即为带电圆环在P处的场强E_P,

$$E_P=nE_x=nk\frac{Q}{n(R^2+L^2)}\cos\theta=k\frac{QL}{(R^2+L^2)^{\frac{3}{2}}}。$$

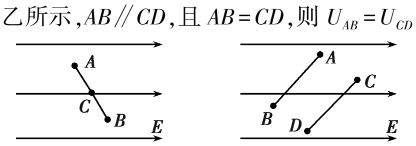
答案 $k\frac{QL}{(R^2+L^2)^{\frac{3}{2}}}$

4.公式$U=Ed$的应用技巧

(1)两个推论

①如图甲所示,C点为线段AB的中点,则有$\varphi_C=\frac{\varphi_A+\varphi_B}{2}$。

②如图乙所示,$AB\parallel CD$,且$AB=CD$,则$U_{AB}=U_{CD}$。



甲 乙

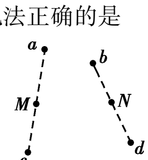
(2)三种巧用

①解释等差等势面的疏密与电场强度大小的关系,当电势差U一定时,电场强度E越大,则沿电场强度方向的距离d越小,即电场强度越大,等差等势面越密。

②定性判断非匀强电场电势差的大小关系,如距离相等的两点间的电势差,E越大,U越大;E越小,U越小。

③利用$\varphi-x$图像的斜率判断沿x轴方向电场强度E_x随位置的变化规律。在$\varphi-x$图像中斜率$k=\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}=\frac{U}{d}=E_x$,斜率的大小表示电场强度的大小,正负表示电场强度的方向。

例 5 (2018课标Ⅱ,21,6分)如图,同一平面内的a、b、c、d四点处于匀强电场中,电场方向与此平面平行,M为a、c连线的中点,N为b、d连线的中点。一电荷量为$q(q>0)$的粒子从a点移动到b点,其电势能减小W_1;若该粒子从c点移动到d点,其电势能减小W_2。下列说法正确的是 ( )



A.此匀强电场的场强方向一定与a、b两点连线平行

B.若该粒子从M点移动到N点,则电场力做功一定为$\frac{W_1+W_2}{2}$

C.若 c、d 之间的距离为 L,则该电场的场强大小一定为$\frac{W_2}{qL}$

D.若 $W_1=W_2$,则 a、M 两点之间的电势差一定等于 b、N 两点之间的电势差

解析　本题考查电场力做功与电势能变化量的关系、匀强电场中$U=Ed$。根据电场力做功与电势能变化量的关系有 $W_1=q(\varphi_a-\varphi_b)$①,$W_2=q(\varphi_c-\varphi_d)$②,$W_{MN}=q(\varphi_M-\varphi_N)$③,根据匀强电场中"同一条直线上两点间的电势差与两点间的距离成正比"的规律可知,$U_{aM}=U_{Mc}$,即 $\varphi_a-\varphi_M=\varphi_M-\varphi_c$,可得 $\varphi_M=\frac{\varphi_a+\varphi_c}{2}$④,同理可得 $\varphi_N=\frac{\varphi_b+\varphi_d}{2}$⑤,联立①②③④⑤式可得:$W_{MN}=\frac{W_1+W_2}{2}$,即 B 项正确。若 $W_1=W_2$,则 $\varphi_a-\varphi_b=\varphi_c-\varphi_d$,结合④⑤两式可推出 $\varphi_a-\varphi_M=\varphi_b-\varphi_N$,即 D 项正确。由题意无法判定电场强度的方向,故 A、C 项均错误。

答案　BD

易错点拨　注意 $E=\frac{U}{d}$成立的条件

在匀强电场中,$E=\frac{U}{d}$中的 d 为始、末两点沿电场线方向上的距离,本题中如果未注意这一条件,易错选 C。

考点二　电场能的性质

考向基础

一、静电力做功与电势能的变化

1.静电力做功的特点

(1)在电场中移动电荷时电场力做功与路径无关,只与初末位置有关,可见静电力做功与重力做功相似。

(2)在匀强电场中,电场力做的功 $W=Eqd$,其中 d 为沿电场线方向的距离。

2.静电力做功与电势能变化的关系

静电力做的功等于电势能的减少量,即 $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}$。即静电力做多少正功,电势能就减少多少;静电力做多少负功,电势能就增加多少。

二、等势面

1.定义:电场中电势相等的各点组成的面。

2.特点

(1)等势面一定与场强的方向垂直。

(2)在同一等势面上移动电荷时电场力不做功。

(3)电场线总是从电势高的等势面指向电势低的等势面。

(4)等差等势面越密的地方电场强度越大;反之越小。

考向突破

考向一　电场强度、电势、电势差、电势能的关系

1.电场强度、电势、电势差、电势能的比较

	电场强度	电势	电势差	电势能
意义	描述电场的力的性质	描述电场的能的性质	描述电场做功的本领	描述电荷在电场中的能量,电荷做功的本领
定义式	$E=\frac{F}{q}$	$\varphi=\frac{E_p}{q}$(E_p为电荷的电势能)	$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$	$E_p=\varphi q$

续表

	电场强度	电势	电势差	电势能
矢标性	矢量,方向为放在电场中的正电荷所受电场力的方向	标量,但有正负,正负只表示大小	标量,但有正负,正负只表示电势的高低	正电荷在正电势位置有正电势能,简化为:正正得正;同理负正得负、负负得正
决定因素	场强由电场本身决定,与试探电荷无关	电势由电场本身决定,与试探电荷无关,其大小与参考点的选取有关,有相对性	由电场本身的两点间差异决定,与试探电荷无关,与参考点选取无关	由电荷量和该点电势二者决定,与参考点选取有关
关系	(1)场强为零的地方电势不一定为零 (2)电势为零的地方场强不一定为零 (3)零场强区域两点间电势差一定为零,电势差为零的区域场强不一定为零 (4)场强为零,电势能不一定为零,电势为零,电势能一定为零			
联系	匀强电场中 $U_{AB}=Ed$(d 为 A、B 间沿场强方向上的距离);电势沿着场强方向降低最快;$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$;$\varphi=\frac{E_p}{q}$;$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$;$W_{AB}=\Delta E_{pAB}=E_{pA}-E_{pB}$			

2.电场中电势高低的判断

(1)根据电场线的方向来判断:电场线由高电势面指向低电势面,或者说沿电场线方向电势逐渐降低。

(2)由 $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$,将 W_{AB} 和 q 带符号代入,据 U_{AB} 的正负判断 A、B 两点电势的高低:当 $U_{AB}>0$ 时,$\varphi_A>\varphi_B$;当 $U_{AB}<0$ 时,$\varphi_A<\varphi_B$。

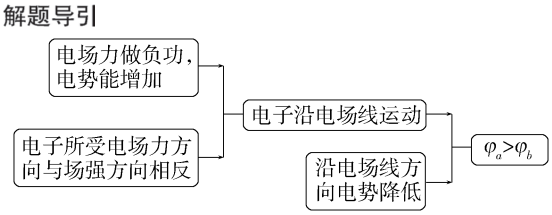
(3)根据电场力做功来判断:电场力对正电荷做正功,电荷由高电势处移向低电势处;正电荷克服电场力做功,电荷由低电势处移向高电势处。对于负电荷,情况恰好相反。

(4)根据电势能来判断:正电荷在电势高处电势能较大;负电荷在电势低处电势能较大。

例 1　如图所示,电子在一条电场线上从 a 点运动到 b 点,电势能增加,试判定 a、b 两点电势高低。



解题导引



解析　**解法一**　利用电场线方向来判断,由于电势能增加,电场力一定做负功,即电场力方向和电荷运动方向相反,从 b 指向 a,而负电荷受电场力的方向和场强方向相反,场强方向应是由 a 指向 b,因此电场线的方向是从 a 指向 b。沿着电场线的方向电势越来越低,故 a 点电势比 b 点电势高。

解法二　利用电场力做功来判断,由于电势能增加,电场力一定做负功,即 W_{ab} 为负值,而 q 是负电荷,即 q 为负值,由 $W_{ab}=q(\varphi_a-\varphi_b)$,得 $\varphi_a>\varphi_b$。

解法三　利用电势能判断,对正电荷,q 为正值,在电势越高的地方电势能就越大,而对负电荷,q 为负值,在电势越高的地方电势能越小,而本题已知条件是负电荷在 a 点电势能较小,故 a 点电势高。

答案　见解析

3.电势能大小的判断

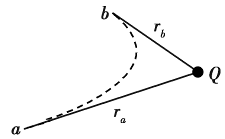
(1)由公式 $E_p=q\varphi$ 判断

设 $\varphi_A>\varphi_B$,当 $q>0$ 时,$q\varphi_A>q\varphi_B$,即 $E_{pA}>E_{pB}$;当 $q<0$ 时,$q\varphi_A<q\varphi_B$,即 $E_{pA}<E_{pB}$,可总结为正电荷在电势高的地方电势能大,而负电荷在电势高的地方电势能小。

(2)做功判断法

电场力做正功,电荷(无论是正电荷还是负电荷)从电势能较大的地方移向电势能较小的地方。反之,如果电荷克服电场力做功,那么电荷将从电势能较小的地方移向电势能较大的地方。

例2 一带电粒子射入一固定的点电荷的电场中,沿如图所示的虚线由 a 点运动到 b 点。a、b 两点到点电荷的距离分别为 r_a 和 r_b,且 $r_a>r_b$。若不计重力,则 ( )



A.带电粒子一定带正电

B.库仑力先做正功后做负功

C.带电粒子在 b 点的动能小于在 a 点的动能

D.带电粒子在 b 点的电势能大于在 a 点的电势能

解析 由粒子运动轨迹可知粒子与点电荷间的库仑力为斥力,即粒子与点电荷电性相同,由于固定的点电荷电性未知,故无法判断带电粒子的电性,A 错误。由轨迹可知二者间距离先减小后增大,则库仑力先做负功后做正功,又因 $r_a>r_b$,可知库仑力所做总功为负,则粒子运动到 b 点时动能变小,电势能变大,即 $E_{kb}<E_{ka}$,$E_{pb}>E_{pa}$,故 B 错误,C、D 正确。

答案 CD

考向二 带电粒子运动轨迹类问题的处理

利用粒子在电场中的运动轨迹来判定粒子电性(或者判定电场线的方向、电场力做功情况、电势能的变化、动能的变化)的步骤可分为如下几步:

1.在粒子的轨迹上选一点(一般为初始点),作该点轨迹的切线,轨迹的切线方向即速度方向。

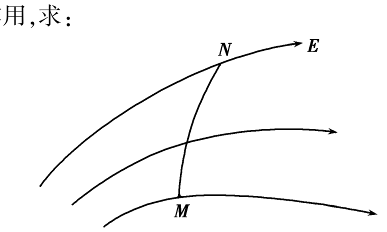
2.过该点作电场线的切线,电场线的切线方向即场强方向。标出可能受电场力的两个方向。

3.根据粒子偏转的方向,利用曲线运动的条件,判定电场力的方向(受力方向与轨迹的偏转方向在速度方向的同侧)。

4.利用判断出的电场力方向与场强方向的关系,判定粒子的电性。

5.利用电场力方向与速度方向的夹角 θ,判断电场力所做功的正负。$0\leqslant\theta<90°$时,电场力做正功,电势能减小,动能增加(只受电场力)。$90°<\theta\leqslant180°$时,电场力做负功,电势能增加,动能减小(只受电场力)。$\theta=90°$时,电场力不做功。

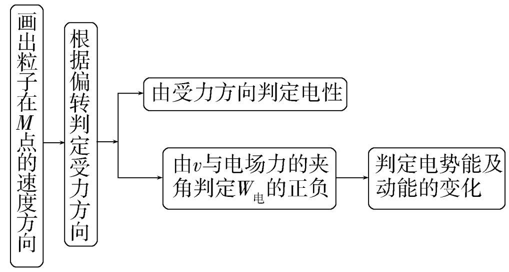
例3 如图,一带电粒子 q 在电场中运动的轨迹为 MN。不考虑重力作用,求:



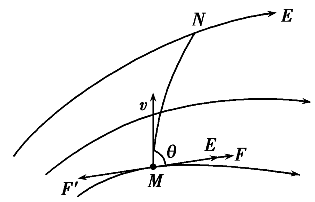
(1)q 的电性;

(2)从 M 到 N 电势能怎样变化?动能怎样变化?

解题导引



解析 过 M 点作轨迹的切线,得粒子在该点的速度方向。过 M 点作电场线的切线得场强方向,粒子可能受到的电场力为 F 或 F'。由 MN 向右弯曲及曲线运动条件可知粒子所受电场力为 F,与电场方向一致。可得 q 为带正电粒子。



由 v 与 F 的夹角 $\theta<90°$,可知电场力做正功,电势能减小。由动能定理有 $W_电=W_合=\Delta E_k$,可知带电粒子从 M 到 N 动能增加。

答案 (1)带正电 (2)电势能减小 动能增加

考向三 电场力的功

1.由功的定义式 $W=Fl\cos\theta$ 计算,此公式只适用于匀强电场中,可变形为 $W=qEx$,式中 x 为电荷初、末位置在场强方向上的位移。

2.依据 $W_{AB}=qU_{AB}$ 计算,对任何电场都适用。

对于 q、U_{AB} 的符号有两种处理方法:

①将 q、U_{AB} 的绝对值代入 $W_{AB}=qU_{AB}$ 中计算,得电场力做功的绝对值,再根据电场力方向、位移方向来判定功的正负,或由其他方法判定功的正负。

②直接将 q、U_{AB} 的数值及符号代入 $W_{AB}=qU_{AB}$ 中计算,计算结果直接表明电场力做功的多少及做功的正负。

当 $U_{AB}>0,q>0$ 或 $U_{AB}<0,q<0$ 时,$W_{AB}>0$;否则 $W_{AB}<0$(注意:$U_{AB}=0$,则 $W_{AB}=0$)。

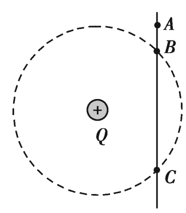
3.根据电场力做功与电势能变化量的关系,即 $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}=-(E_{pB}-E_{pA})$,其中 $E_{pB}=q\varphi_B$,$E_{pA}=q\varphi_A$,对任何电场都适用。

4.由动能定理计算,$W_{电场力}+W_{其他力}=\Delta E_k$。此方法对任何电场、任何形式的运动都适用。

例4 如图所示,光滑绝缘细杆竖直放置,它与以正电荷 Q 为圆心的某圆交于 B、C 两点,质量为 m、带电荷量为 $-q$ 的有孔小球从杆上 A 点无初速度下滑,已知 $q\ll Q$,$AB=h$,小球滑到 B 点时速度大小为 $\sqrt{3gh}$,求:

(1)小球由 A 到 B 的过程中电场力做的功;

(2)A、C 两点间的电势差。



解析 (1)因为杆是光滑的,所以小球从 A 到 B 过程中只有两个力做功:电场力做功 W_E 和重力做功 mgh,由动能定理得:$W_E+mgh=\frac{1}{2}mv_B^2$,代入已知条件 $v_B=\sqrt{3gh}$,得电场力做功 $W_E=$

$\frac{1}{2}m\cdot 3gh-mgh=\frac{1}{2}mgh$。

(2)因为 B、C 在同一个等势面上，所以 $\varphi_B=\varphi_C$，

则 $U_{AC}=U_{AB}$

由 $W=qU$ 得 $U_{AC}=U_{AB}=\frac{W_E}{-q}=-\frac{mgh}{2q}$

答案　$\frac{1}{2}mgh$　(2)$-\frac{mgh}{2q}$

考点三　电容器、带电粒子在电场中的运动

考向基础

一、电容器的电容

1.两个彼此绝缘又相互靠近的导体就可以构成电容器，电容器所带电荷量与两板间电势差的比值，叫做电容器的电容。

2.电容的定义式为 $C=\frac{Q}{U}$。可由 $C=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$计算电容 C。在国际单位制中，电容的单位是法拉(F)，常用单位有微法(μF)和皮法(pF)。它们的换算关系是 1 F=10^6 μF=10^{12} pF。

3.电容器的电容与自身的几何结构(正对面积、间距)和介质特性有关，与它是否带电、带电多少、板间电势差的大小等无关。

4.电容器所带电荷量是电容器的一个极板上所带电荷量的绝对值。使电容器带电的过程称为充电；使充电后的电容器失去电荷的过程称为放电。

5.平行板电容器的电容，跟电介质的相对介电常数 ε_r 成正比，跟正对面积 S 成正比，跟极板间距离 d 成反比，用公式表示为 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$。

二、带电粒子在匀强电场中的运动

1.带电粒子沿与电场线平行的方向进入匀强电场，受到的电场力与运动方向在同一条直线上，做匀加速或匀减速直线运动。

2.只有电场力做功，若带电粒子的初速度为零，有 $\frac{1}{2}mv^2=qU$，则 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，若带电粒子的初速度不为零，则由动能定理可得：$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=qU$。

3.带电粒子以速度 v 垂直于电场线方向飞入匀强电场，受到恒定的与初速度方向垂直的电场力作用而做匀变速曲线运动。垂直于场强方向做匀速直线运动，平行于场强方向做初速度为零的匀加速直线运动。

考向突破

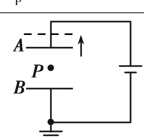
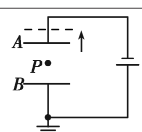
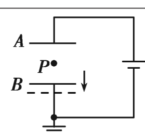
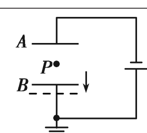
考向一　平行板电容器的动态分析

1.C、Q、U、E 变化情况分析

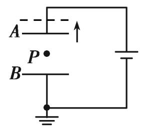
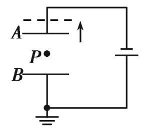
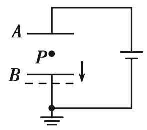
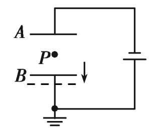
		对应电路	动态起因	电容 C	电荷量 Q	电压 U	场强 E	
				$C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$	$Q=CU$	$U=\frac{Q}{C}$	$E=\frac{U}{d}$	$E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$
不变量	电压 U	始终与电源相连接	正对面积 S↑	↑	↑	—	不变	—
			板间距离 d↑	↓	↓	—	↓	↓
			加电介质 ε_r↑	↑	↑	—	不变	—
			加金属板 d↓	↑	↑	—	↑	↑
	电荷量 Q	充电后与电源断开	正对面积 S↑	↑	—	↓	↓	↓
			板间距离 d↑	↓	—	↑	—	不变
			加电介质 ε_r↑	↑	—	↓	↓	↓
			加金属板 d↓	↑	—	↓	—	不变

温馨提示	(1)$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$
	(2)在电容器两极板间加金属板时，由于静电感应，金属板内场强为零，极板间有效距离 d 减小
	(3)真空的相对介电常数 $\varepsilon_r=1$，空气的相对介电常数接近 1，其他电介质的相对介电常数都大于 1
	(4)在开关闭合、电容器与一理想二极管串联时，二极管相当于一个自动开关。电容器发生动态变化而引起充电或放电时，若二极管导通，则按电压 U 不变分析；若二极管截止，则按电荷量 Q 不变处理

2.板间某点电势 φ、带电粒子的电势能 E_p 变化情况分析

判定方法与步骤 \ 四种典型情况					
E	$E=\frac{U}{d}$	减小	减小	减小	减小
$\lvert U_{PB}\rvert$	$\lvert U_{PB}\rvert=Ed_{PB}$	减小	减小	—	—
	$\lvert U_{PB}\rvert=U-Ed_{PA}$	—	—	增大	增大

续表

判定方法与步骤 \ 四种典型情况						
φ_P	符号		+(>0)	-(<0)	+(>0)	-(<0)
	变化情况		降低	升高	升高	降低
E_p	$E_p=q\varphi_P$	$q>0$	减小	增大	增大	减小
		$q<0$	增大	减小	减小	增大

例 1 一平行板电容器两板之间的距离 d 和两板正对面积 S 都可以调节,电容器充电后与电源断开,以 U 表示电容器两极板间电压,E 表示两极板间的电场强度,则 ( )

A.当 S 减小、d 增大时,U 增大、E 增大

B.当 S 增大、d 不变时,U 减小、E 不变

C.当 d 减小、S 减小时,U 增大,E 增大

D.当 d 增大、S 不变时,U 增大、E 减小

解析 电容器充电后与电源断开,可知电容器的电荷量 Q 不变,由 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$知,当 S 减小、d 增大时,C 减小,由 $Q=CU$ 知 $U=\frac{Q}{C}$增大,由 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$知 E 增大,A 正确;同理当 S 增大、d 不变时,C 增大,U 减小,E 减小,B 错误;当 d 减小、S 减小时,无法确定 C、U 的变化情况,C 错误;当 d 增大、S 不变时,C 减小,U 增大,E 不变,D 错误。

答案 A

考向二 带电粒子在电场中的运动

1.平衡(静止或匀速直线运动)

条件:$F_合=0$ 或 $qE=mg$(仅受电场力和重力时)。

2.加速

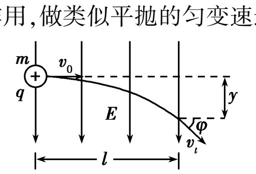
以初速度 v_0 射入电场中的带电粒子,经电场力做功加速至 v,由 $qU=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ 得 $v=\sqrt{v_0^2+\frac{2qU}{m}}$。

当 v_0 很小或 $v_0=0$ 时,上式简化为 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$。

即粒子被加速后速度的大小,跟粒子的质量 m、电荷量 q、加速过程始末位置的电势差 U 有关,跟电场是否均匀、粒子的具体运动路径无关。

3.偏转

(1)以初速度 v_0 垂直场强方向射入匀强电场中的带电粒子,受恒定电场力作用,做类似平抛的匀变速运动(如图)。



加速度 $a=\frac{qE}{m}$

运动时间 $t=\frac{l}{v_0}$

侧移量 $y=\frac{1}{2}at^2=\frac{qE}{2m}\left(\frac{l}{v_0}\right)^2$

偏转角的正切值 $\tan\varphi=\frac{v_y}{v_x}=\frac{at}{v_0}=\frac{qEl}{mv_0^2}$

出射速度 $v_t=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$ $(v_x=v_0, v_y=at)$。

(2)两个有用的结论

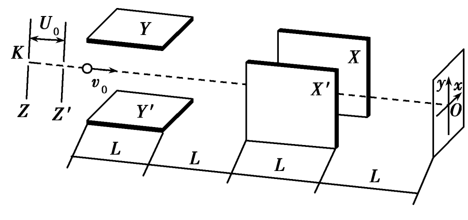
①以垂直于电场方向射入(即沿 x 轴射入)的带电粒子在射出电场时速度的反向延长线交于 x 轴上的一点,该点与射入点间的距离为带电粒子在 x 方向上位移的一半。

②静止的带电粒子经同一电场加速,再垂直射入同一偏转电场,射出粒子的偏转角度和侧移量与粒子的 q、m 无关。

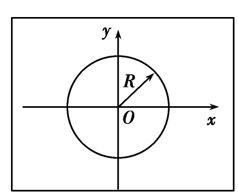
例 2 (2019 5·3 原创)如图甲所示,不断有初速度不计的电子(质量为 m,电荷量为 e)从 K 点进入电压为 U_0 的加速电场 ZZ'。经加速电场加速后,以速度 v_0 沿水平方向射出,经过两个偏转电场 YY' 和 XX',最后打在荧光屏上。已知偏转极板 X、X' 沿水平方向,Y、Y' 沿竖直方向且与 v_0 平行,荧光屏为竖直方向且与 v_0 垂直。YY' 与 XX' 板间距离均为 d,极板长均为 L。YY' 与 XX'、XX' 与荧光屏的水平距离也为 L。偏转极板间都不加电压时,电子沿直线运动,打在荧光屏中心(0,0)点,在那里产生一个亮斑。现希望利用此装置在 T 时间内在荧光屏上沿逆时针方向画出一半径为 R 的圆形(如图乙所示),设 $t=0$ 时刻,电子恰好打在荧光屏上$(R,0)$点。

(1)求电子从加速电场射出时速度 v_0 的大小。

(2)试分别求出 YY' 间电压 $U_{YY'}$ 和 XX' 间电压 $U_{XX'}$ 随时间变化的规律。(每个电子穿过偏转电场的时间极短,可以认为电子穿过偏转电场过程中偏转极板间电压不变。不计电子重力,极板大小和极板间距离都足够大。不计电子间相互作用力)



图甲



图乙荧光屏(图甲中从右向左看)

解析 (1)电子在加速电场中运动时,电场力对电子所做的功 $W=eU_0$

由动能定理得:$eU_0=\frac{1}{2}mv_0^2-0$

解得 $v_0=\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$

(2)由数学知识可知圆形方程:$\begin{cases}x=R\cos\theta\\y=R\sin\theta\end{cases}(0\leqslant\theta\leqslant2\pi)$ ①

电子打在荧光屏上逆时针画圆时的角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}$,则经过

时间 $t(t\leqslant T)$，电子打在荧光屏上的点与坐标系原点的连线同 x 轴的夹角 $\theta=\omega t=\frac{2\pi}{T}t$　②

把②式代入①式中，得：$\begin{cases}x=R\cos\frac{2\pi}{T}t\\ y=R\sin\frac{2\pi}{T}t\end{cases}$　③

y 方向：电子进入偏转电场 YY' 后，在 y 轴方向做初速度为零的匀加速直线运动，加速度 $a_y=\frac{eU_{YY'}}{md}$，在 YY' 中运动时间 $t_{y1}=\frac{L}{v_0}$，沿 y 轴方向的偏移量

$y_1=\frac{1}{2}a_y t_{y1}^2=\frac{eU_{YY'}L^2}{2mdv_0^2}$

离开 YY' 后，在 y 轴方向做匀速直线运动

$v_y=a_y\cdot t_{y1}=\frac{eU_{YY'}L}{mdv_0}$

运动时间 $t_{y2}=\frac{3L}{v_0}$，沿 y 轴方向的偏移量

$y_2=v_y\cdot t_{y2}=\frac{3eU_{YY'}L^2}{mdv_0^2}$

沿 y 方向总偏移量 $y=y_1+y_2=\frac{7eU_{YY'}L^2}{2mdv_0^2}$　④

将(1)问中 $v_0=\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$ 代入④式得：$y=\frac{7U_{YY'}L^2}{4dU_0}$　⑤

将⑤式代入③式中，得：$\frac{7U_{YY'}L^2}{4dU_0}=R\sin\frac{2\pi}{T}t$

解得 $U_{YY'}=\frac{4dRU_0}{7L^2}\sin\frac{2\pi}{T}t$

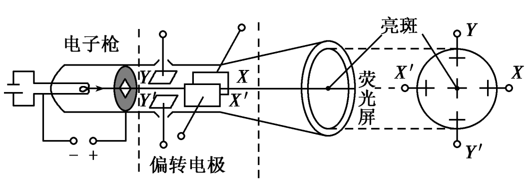
同理可得：$U_{XX'}=\frac{4dRU_0}{3L^2}\cos\frac{2\pi}{T}t$

答案　(1)$\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$

(2)$U_{YY'}=\frac{4dRU_0}{7L^2}\sin\frac{2\pi}{T}t$　$U_{XX'}=\frac{4dRU_0}{3L^2}\cos\frac{2\pi}{T}t$

考向三　示波管的构造和原理

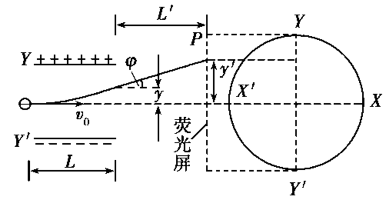
1.示波管的构造：示波器的核心部件是示波管，示波管的构造简图如图所示，也可将示波管的结构大致分为三部分，即电子枪、偏转电极和荧光屏。



2.示波管的原理

(1)偏转电极不加电压时，从电子枪射出的电子将沿直线运动，射到荧光屏的中心点形成一个亮斑。

(2)在 YY'(或 XX')加电压时，则电子被加速、偏转后射到荧光屏上 YY'(或 XX')所在直线上某一点，形成一个亮斑(不在中心)，如图所示。



设加速电压为 U_1，偏转电压为 U_2，电子电荷量为 e，质量为 m，由 $W=\Delta E_k$ 得 $eU_1=\frac{1}{2}mv_0^2$

在电场中的侧移量 $y=\frac{1}{2}at^2=\frac{eU_2}{2dm}t^2$

其中 d 为两板的间距。

水平方向 $t=\frac{L}{v_0}$

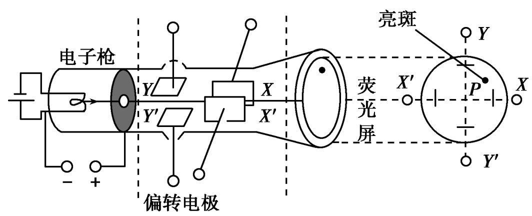
又 $\tan\varphi=\frac{v_y}{v_x}=\frac{at}{v_0}=\frac{eLU_2}{dmv_0^2}$

可得荧光屏上的侧移量

$y'=y+L'\tan\varphi=\frac{eLU_2}{mv_0^2d}\left(L'+\frac{L}{2}\right)=\left(L'+\frac{L}{2}\right)\tan\varphi$。

(3)示波管实际工作时，竖直偏转电极和水平偏转电极都加上电压。一般加在竖直偏转电极上的电压是要研究的信号电压，加在水平偏转电极上的是扫描电压，若两者周期相同，在荧光屏上就会显示出信号电压随时间变化的波形图。

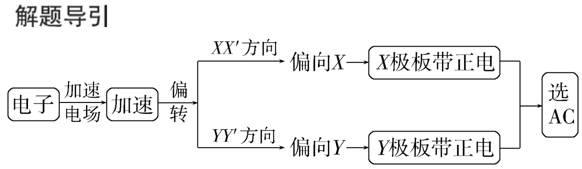
例3　示波管是示波器的核心部件，它由电子枪、偏转电极和荧光屏组成，如图所示。如果在荧光屏上 P 点出现亮斑，那么示波管中的　(　　)



A.极板 X 应带正电　　B.极板 X' 应带正电

C.极板 Y 应带正电　　D.极板 Y' 应带正电

解题导引



解析　根据亮斑的位置，电子偏向 XY 区间，说明电子受到电场力作用发生了偏转，因此极板 X、极板 Y 均应带正电。

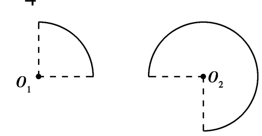
答案　AC

考点集训

对应学生用书起始页码93

考点一　电场力的性质

1. 如图所示，两个带电荷量均为 q 的点电荷分别位于带电的半径相同的$\frac{1}{4}$球壳和$\frac{3}{4}$球壳的球心，两个球壳上电荷均匀分布且电荷面密度相同。若甲图中带电$\frac{1}{4}$球壳对点电荷的库仑力大小为 F，则乙图中带电$\frac{3}{4}$球壳对点电荷的库仑力大小为　(　　)

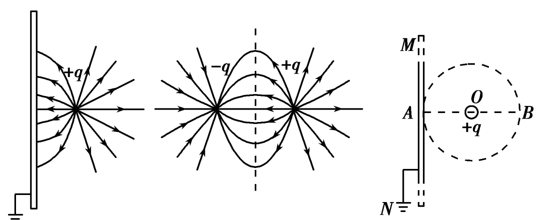


甲　　乙

A. $\frac{3}{2}F$　　B. $\frac{\sqrt{2}}{2}F$　　C. $\frac{F}{2}$　　D. F

答案　D　将乙图中的均匀带电$\frac{3}{4}$球壳分成三个$\frac{1}{4}$带电球壳,关于球心对称的两个$\frac{1}{4}$带电球壳对点电荷的库仑力的合力为零,因此乙图中的带电$\frac{3}{4}$球壳对点电荷的库仑力和甲图中的带电$\frac{1}{4}$球壳对点电荷的库仑力大小相等,D项正确。

2.(2020届山西太原三校联考,4)经过探究,某同学发现:点电荷和无限大的接地金属平板间的电场(如图甲所示)与等量异种点电荷之间的电场分布(如图乙所示)相同。图丙中点电荷q到MN的距离OA为L,AB是以电荷q为圆心、L为半径的圆上的一条直径,则B点电场强度的大小是　　(　　)



甲　　乙　　丙

A. $\frac{10kq}{9L^2}$　　B. $\frac{kq}{L^2}$　　C. $\frac{8kq}{9L^2}$　　D. $\frac{3kq}{4L^2}$

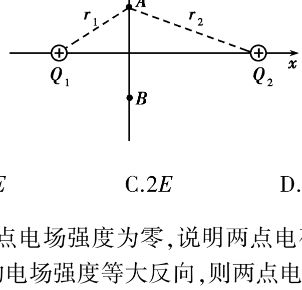
答案　C　本题考查了电场力的性质,体现了物理观念中的运动与相互作用要素。

根据B点的电场线方向可以得B点的电场强度方向是垂直于金属板向右。两个异号点电荷,电荷量的大小均为q,它们之间的距离为$2L$,乙图上$+q$右侧L处的场强大小为

$$E=k\frac{q}{L^2}-k\frac{q}{9L^2}=k\frac{8q}{9L^2}$$

根据题意可知,B点的电场强度大小与乙图上$+q$右侧L处的场强大小相等,即为$k\frac{8q}{9L^2}$,故选项C正确。

3.(2018陕西渭南教学质量检测,6)如图所示,在x轴上放置两正点电荷Q_1、Q_2,当空间存在沿y轴负向的匀强电场时,y轴上A点的电场强度等于零,已知匀强电场的电场强度大小为E,两点电荷到A点的距离分别为r_1、r_2,则在y轴上与A点对称的B点的电场强度大小为　　(　　)

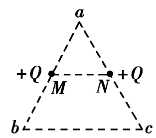


A.0　　B. E　　C. $2E$　　D. $E+k\frac{Q_1}{r_1^2}+k\frac{Q_2}{r_2^2}$

答案　C　A点电场强度为零,说明两点电荷在A点的合场强与匀强电场的电场强度等大反向,则两点电荷在A点的合场强大小为E,方向竖直向上,根据对称性,两点电荷在B处产生的合场强方向竖直向下,大小为E,所以B点的电场强度大小为$2E$,方向竖直向下,选项C正确。

考点二　电场能的性质

1.(多选)如图所示,MN是边长为L的等边三角形abc的中位线,在M、N两点分别固定着电荷量均为$+Q$的点电荷。下列说法正确的是　　(　　)



A. a点的电场强度大小为$k\frac{Q}{L^2}$

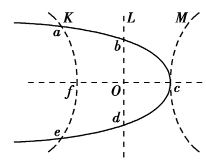
B. a点的电势高于c点的电势

C. a、b两点间的电势差大于b、c两点间的电势差

D.负点电荷从b点移到c点的过程中电势能先增大后减小

答案　BC　根据电场强度的叠加,a点的电场强度方向竖直向上,大小$E=2\frac{kQ}{(\frac{L}{2})^2}\cos 30°=\frac{4\sqrt{3}kQ}{L^2}$,A错误;根据等量同种正点电荷的电场线和等势线分布情况可知$\varphi_c<\varphi_a$,B正确;a、b间电势差不为零,b、c间电势差为零,C正确;负点电荷从b点移到c点的过程中,电场力先做正功后做负功,电势能先减小后增大,D错误。

2.(多选)如图所示,在两等量异种点电荷连线上有c、O、f三点,虚线所在的曲线M、L、K分别表示过c、O、f三点的等势面,一不计重力的带负电粒子,从a点射入电场,只在电场力作用下沿$abcde$运动,其轨迹关于两点电荷连线对称,如图中实线所示:a、b、c、d、e为轨迹与各等势面的交点,则下列说法中正确的有　　(　　)



A.各等势线的电势大小关系为$\varphi_K>\varphi_L>\varphi_M$

B. a点与b点的电场强度相同

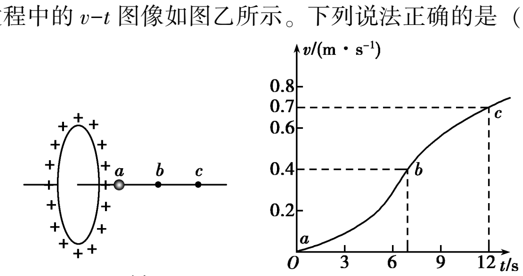
C.粒子在a点与e点的加速度大小相等

D.粒子在c点的电势能大于在e点的电势能

答案　ACD　由曲线运动的特点可以知道粒子在c点受到向左的电场力,又粒子带负电,则知过c点的电场线方向向右,根据等量异种点电荷电场的特点知正点电荷在虚线K的左边,负点电荷在虚线M的右边,因此$\varphi_K>\varphi_L>\varphi_M$,选项A正确;$a$点与$b$点的电场强度大小不一定相等,而且方向不同,选项B错误;a点与e点的电场强度大小相等,粒子在这两点所受电场力大小相等,所以加速度大小相等,选项C正确;粒子从c点到e点,电场力做正功,故粒子在c点的电势能大于在e点的电势能,选项D正确。

思路点拨　带电粒子沿$abcde$运动,根据轨迹的弯曲方向判断出带电粒子所受电场力的大致方向,则可判断正、负点电荷的位置,进一步可大致画出电场线的分布。

3.如图甲所示,一绝缘的竖直圆环上均匀分布着正电荷。一光滑细杆从圆心垂直圆环平面穿过圆环,杆上套有带正电的小球,现使小球从a点由静止释放,并开始计时,后经过b、c两点,运动过程中的v-t图像如图乙所示。下列说法正确的是　(　　)



甲　　乙

A.带电圆环在圆心处产生的场强不为零

B. a点场强大于b点场强

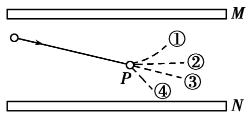
C.电势差U_{ab}小于U_{bc}

D.小球由b到c的过程中平均速度小于0.55 m/s

答案　C　根据电场的叠加原理和对称性可知，带电圆环在圆心处产生的场强为零，选项 A 错误；因 $v-t$ 图线的斜率表示加速度，则由乙图知，小球在 a 处的加速度小于在 b 处的加速度，由 $qE=ma$ 知，$E_a<E_b$，选项 B 错误；由动能定理有 $qU_{ab}=\frac{1}{2}mv_b^2-0=\frac{1}{2}m\times0.4^2=0.08m$，$qU_{bc}=\frac{1}{2}mv_c^2-\frac{1}{2}mv_b^2=0.165m$，可得 $U_{ab}<U_{bc}$，选项 C 正确；小球由 b 到 c 的过程中做非匀加速运动，位移大于匀加速的位移，故平均速度 $\bar{v}>\frac{0.7+0.4}{2}$ m/s = 0.55 m/s，选项 D 错误。

考点三　电容器、带电粒子在电场中的运动

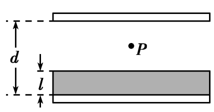
1.（2018 河南开封模拟，2）如图所示，带等量异种电荷的两块等大的平行金属板 M、N 水平正对放置。两板间有一带电微粒以速度 v_0 沿直线运动，当微粒运动到 P 点时，将 M 板迅速向上平移一小段距离，则此后微粒的可能运动情况是　（　　）



A.沿轨迹①运动　　B.沿轨迹②运动
C.沿轨迹③运动　　D.沿轨迹④运动

答案　C　根据 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$知，只将 M 板迅速向上平移一小段距离，不影响板间场强，微粒受力情况不变，应沿原直线运动，C 正确。

2. 如图所示，一平行板电容器的两极板与一电压恒定的电源相连，极板水平放置，极板间距为 d；在下极板上叠放一厚度为 l 的金属板，其上部空间有一带电粒子 P 静止在电容器中。当把金属板从电容器中快速抽出后，粒子 P 开始运动。重力加速度为 g。粒子运动的加速度为　（　　）

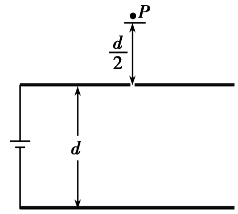


A.$\frac{l}{d}g$　　B.$\frac{d-l}{d}g$　　C.$\frac{l}{d-l}g$　　D.$\frac{d}{d-l}g$

答案　A　初始粒子静止，则 $mg=q\frac{U}{d-l}$，撤去金属板后两极板间电压 U 不变，板间距变为 d，则 $mg-q\frac{U}{d}=ma$，解得 $a=\frac{l}{d}g$，选 A。

解题关键　下极板上叠放一金属板后，由于静电感应，电容器板间距变为 $d-l$。由 $E=\frac{U}{d}$可知撤去金属板后 E 变小，粒子将向下运动。

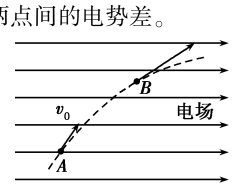
3.（2018 河南信阳质检，12）一水平放置的平行板电容器的两极板间距为 d，极板分别与电池两极相连，上极板中心有一小孔（小孔对电场的影响可忽略不计）。小孔正上方$\frac{d}{2}$处的 P 点有一带电粒子，该粒子由静止开始下落，经过小孔进入电容器，并在下极板处（未与极板接触）返回。若将下极板向上平移$\frac{d}{2}$，求仍从 P 点由静止开始下落的相同粒子下落的最大高度。



答案　$\frac{3}{4}d$

解析　粒子从小孔正上方$\frac{d}{2}$处由静止开始下落，到下极板处返回，由动能定理有 $mg\left(\frac{d}{2}+d\right)-qU=0$，与电池两极相连，电容器极板间电压不变，将下极板向上平移$\frac{d}{2}$后，设粒子下落至距上极板 x 处返回，由动能定理有 $mg\left(\frac{d}{2}+x\right)-q\frac{U}{\frac{d}{2}}x=0$，联立两式得 $x=\frac{d}{4}$，下落的最大高度 $H=x+\frac{d}{2}=\frac{3d}{4}$。

4.（2015 课标Ⅱ，24，12 分）如图，一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子在匀强电场中运动，A、B 为其运动轨迹上的两点。已知该粒子在 A 点的速度大小为 v_0，方向与电场方向的夹角为 60°；它运动到 B 点时速度方向与电场方向的夹角为 30°。不计重力。求 A、B 两点间的电势差。



答案　$\frac{mv_0^2}{q}$

解析　设带电粒子在 B 点的速度大小为 v_B。粒子在垂直于电场方向上的速度分量不变，即

$v_B\sin 30°=v_0\sin 60°$　①

由此得 $v_B=\sqrt{3}v_0$　②

设 A、B 两点间的电势差为 U_{AB}，由动能定理有

$qU_{AB}=\frac{1}{2}m(v_B^2-v_0^2)$　③

联立②③式得

$U_{AB}=\frac{mv_0^2}{q}$　④

解题关键　①据运动的独立原理：一个物体同时参与几个不同方向的运动，每个分运动的规律相互独立。可知粒子在 A 和 B 两点沿与电场垂直的方向上分速度相同，即 $v_B\sin 30°=v_0\sin 60°$。②A 和 B 两点速度方向虽然不同，但是并不影响动能定理的运用。

炼技法 提能力 方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧

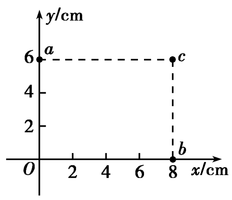
对应学生用书起始页码95

方法1 “等分法”确定匀强电场中电势及场强

在匀强电场中,沿任意方向的同一直线上,相同间距任意两点间电势差均是相等的,当已知匀强电场中某几点的电势,求其他点的电势、场强大小及场强方向时,一般可利用“等分法”;

利用等分法分析问题的一般步骤:第一步,将电势差最大的两点连线,并将线段进行 n 等分,则等分后的每小段两端电势差相等且等于原电势差的$\frac{1}{n}$。第二步,从等分点中找到与其他已知点的电势相等的点,再连接这两点,可以得到一条等势线。第三步,作等势线的垂线,结合各点电势高低情况可确定场强的方向。第四步:结合已知点的电势及已知点间的距离可以求得场强的大小,再结合待求点的位置可以确定其电势。

例1 (2017课标Ⅲ,21,6分)一匀强电场的方向平行于 xOy 平面,平面内 a、b、c 三点的位置如图所示,三点的电势分别为10 V、17 V、26 V。下列说法正确的是 ( )



A.电场强度的大小为2.5 V/cm

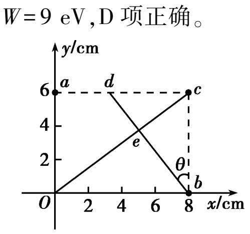
B.坐标原点处的电势为1 V

C.电子在 a 点的电势能比在 b 点的低7 eV

D.电子从 b 点运动到 c 点,电场力做功为9 eV

解析 本题考查电场强度、电势、电势差。

设 a、c 连线上 d 点电势为17 V,如图所示,则$\frac{l_{dc}}{8\ \text{cm}}=\frac{9\ \text{V}}{16\ \text{V}}$,得 $l_{dc}=4.5$ cm,$\tan\theta=\frac{4.5}{6}=\frac{3}{4}$,$\theta=37°$。过 c 作 bd 垂线交 bd 于 e 点,则 $l_{ce}=l_{dc}\cos\theta=4.5\times\frac{4}{5}$ cm=3.6 cm。ce 方向就是匀强电场方向,场强大小为 E,$El_{ce}=U_{cb}$,$E=2.5$ V/cm,A项正确。$U_{eO}=El_{Ob}\sin 53°=16$ V,故 O 点电势 $\varphi_O=17$ V-16 V$=1$ V,B项正确。电子在 a 点的电势能比在 b 点的高7 eV,C项错误。电子从 b 点到 c 点电场力做功 $W=9$ eV,D项正确。



答案 ABD

方法2 对带电粒子在匀强电场与重力场的复合场中运动的处理方法

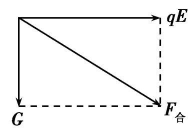
带电粒子在匀强电场中所受电场力与重力都是恒力,处理方法有下列两种:

1.正交分解法

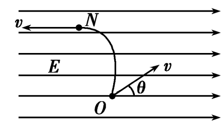
应用这种方法可以将复杂的运动分解为两个互相正交的比较简单的直线运动。

2.等效“重力”法

将重力与电场力进行合成,如图所示,则 $F_合$ 等效于“重力”,$a=\frac{F_合}{m}$等效于“重力加速度”,$F_合$ 的方向等效于“重力”的方向。



例2 如图所示,一个带电荷量为$-q$ 的油滴,从 O 点以速度 v 射入匀强电场中,v 的方向与电场方向成 θ 角。已知油滴的质量为 m,测得油滴到达运动轨迹的最高点 N 时,它的速度大小仍为 v。求:



(1)最高点与 O 点的竖直高度;

(2)最高点处与 O 点的电势差 U_{NO};

(3)电场强度 E。

解析 (1)竖直方向上:$(v\sin\theta)^2=2gh$

$h=\frac{v^2\sin^2\theta}{2g}$

(2)从 O 到 N,由动能定理得:$U_{NO}q-mgh=0$

$U_{NO}=\frac{mgh}{q}=\frac{mv^2\sin^2\theta}{2q}$

(3)竖直方向上:$v\sin\theta=gt$

设水平方向油滴运动加速度为 a,则$-v=v\cos\theta-at$

又 $Eq=ma$

解得 $E=\frac{mg(1+\cos\theta)}{q\sin\theta}$或 $E=\frac{mg\sin\theta}{q(1-\cos\theta)}$

答案 见解析

方法3 静电场中涉及图像问题的处理方法

1.主要类型

(1)$v-t$ 图像;(2)$\varphi-x$ 图像;(3)$E-x$ 图像。

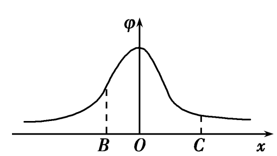
2.应对策略

(1)$v-t$ 图像:根据 $v-t$ 图像中速度的变化、斜率绝对值的变化(即加速度大小的变化),确定电荷所受电场力的方向与电场力的大小变化情况,进而确定电场的方向、电势的高低及电势能的变化。

(2)$\varphi-x$ 图像:①电场强度的大小等于 $\varphi-x$ 图线的斜率绝对值。②在 $\varphi-x$ 图像中可以直接判断各点电势的大小,并可根据电势大小关系大致确定电场强度的方向。③在 $\varphi-x$ 图像中分析电荷移动时做功的正负,可用 $W_{AB}=qU_{AB}$分析 W_{AB}的正负,然后作出判断。

(3)$E-x$ 图像:根据给出的 $E-x$ 图像,确定 E 的方向,根据 E 的大小变化,确定电场的强弱分布。

例3 空间某一静电场的电势 φ 在 x 轴上分布如图所示,x 轴上 B、C 两点电场强度在 x 方向上的分量分别是 E_{Bx}、E_{Cx},下列说法中正确的有 ( )



A.E_{Bx}的大小大于 E_{Cx}的大小

B.E_{Bx}的方向沿 x 轴正方向

C.电荷在 O 点受到的电场力最大

D.负电荷沿 x 轴从 B 移到 C 的过程中,电场力先做正功,后做负功

解析　本题的入手点在于如何判断 E_{Bx} 和 E_{Cx} 的大小,由图像可知在 x 轴上各点的电场强度在 x 方向的分量不相同,如果在 x 方向上取极小的一段,可以把此段看做匀强电场,用匀强电场的处理方法思考,从而得到结论,此方法为微元法。在 B 点和 C 点附近分别取很小的一段 d,由图像知,B 点段对应的电势差大于 C 点段对应的电势差,看做匀强电场,有 $E_x=\dfrac{\Delta\varphi}{d}$,可见 $E_{Bx}>E_{Cx}$,A 项正确;同理可知 O 点场强最小,电荷在该点受到的电场力最小,C 项错误;沿电场方向电势降低,在 O 点左侧,E_{Bx} 的方向沿 x 轴负方向,在 O 点右侧,E_{Cx} 的方向沿 x 轴正方向,则知负电荷沿 x 轴从 B 移到 C 的过程中,电场力先做正功,后做负功,所以 B 项错误、D 项正确。

答案　AD

方法 4　用能量观点处理带电体在电场中运动的方法

对于受变力作用的带电体的运动,必须借助于能量观点来处理。即使是恒力作用的问题,用能量观点处理也常常显得简捷。

1.用动能定理处理。

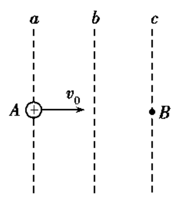
2.用能量守恒定律处理。

列式的方法常有两种

(1)由初、末状态的能量相等(即 $E_1=E_2$)列方程;

(2)由某种能量的减少等于另一种能量的增加(即 $\Delta E=\Delta E'$)列方程。

例 4　如图所示,a、b、c 三条虚线为电场中的等势面,等势面 b 的电势为零,且相邻两个等势面间的电势差相等,一个带正电的粒子(粒子重力不计)在 A 点时的动能为 10 J,在电场力作用下从 A 运动到 B 时速度为零,当这个粒子的动能为 7.5 J 时,其电势能为　(　　)



A.12.5 J　　B.2.5 J　　C.0　　D.−2.5 J

解析　根据动能定理可知,带电粒子从 A 到 B,电场力做功为−10 J,则带电粒子从 A 运动到等势面 b 时,电场力做功为−5 J,粒子在等势面 b 时动能为 5 J。带电粒子在电场中的电势能和动能之和为 5 J,是守恒的,当动能为 7.5 J 时,其电势能为−2.5 J。

答案　D

方法 5　带电粒子在交变电场中运动的处理方法

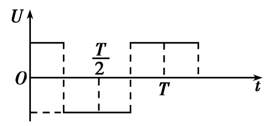
这类问题涉及力学和电场知识的综合运用,但实际上是一个力学问题。分析此类问题注意以下几点。

1.注重全面分析(分析受力特点和运动规律),抓住粒子的运动具有周期性和空间上的对称性,求解粒子运动过程中的速度、位移、做功或确定与物理过程相关的临界条件。

2.分析时从两条思路出发:一是力和运动的关系,根据牛顿第二定律和运动学规律分析;二是功能关系。

3.此类题型一般有三种情况:一是粒子做单向直线运动(一般用牛顿运动定律求解),二是粒子做往返运动(一般分段研究),三是粒子做偏转运动(一般根据交变电场特点分段研究)。

例 5　将如图所示的交变电压加在平行板电容器 A、B 两极板上,开始 B 板电势比 A 板电势高,这时有一个原来静止的电子正处在两板的中间,它在电场力作用下开始运动,设 A、B 两极板间的距离足够大,下列说法正确的是　(　　)



A.电子一直向着 A 板运动

B.电子一直向着 B 板运动

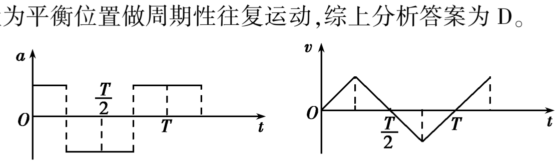
C.电子先向 A 板运动,然后返回向 B 板运动,之后在 A、B 两板间做周期性往复运动

D.电子先向 B 板运动,然后返回向 A 板运动,之后在 A、B 两板间做周期性往复运动

解题导引

电压的变化规律 → 电子所受电场力随时间变化规律 → 电子加速度 a 随时间变化规律 → 电子速度 v 随时间变化规律

解析　根据交变电压的变化规律,不难确定电子所受电场力的变化规律,从而作出电子的加速度 a、速度 v 随时间变化的图像,如图甲、乙。从图中可知,电子在第一个 $T/4$ 内做匀加速运动,在第二个 $T/4$ 内做匀减速运动,在这半周期内,因初始 B 板电势比 A 板电势高,所以电子向 B 板运动,加速度大小为$\dfrac{eU}{md}$。在第三个 $T/4$ 内电子做匀加速运动,在第四个 $T/4$ 内做匀减速运动,但在这半周期内运动方向与前半周期相反,向 A 板运动,加速度大小为$\dfrac{eU}{md}$。所以电子在交变电场中将以 $t=T/4$ 时刻所在位置为平衡位置做周期性往复运动,综上分析答案为 D。



甲　　　　　乙

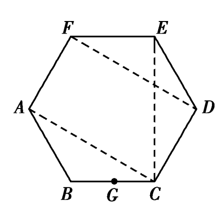
答案　D

方法集训

对应学生用书起始页码 97

方法 1　"等分法"确定匀强电场中电势及场强

1.(多选)如图所示,已知某匀强电场方向平行于正六边形 $ABCDEF$ 所在平面。若规定 D 点电势为零,则 A、B、C 处的电势分别为 8 V、6 V、2 V。初动能为 12 eV、电荷量大小为 $2e$(e 为元电荷)的带电粒子从 A 沿着 AC 方向射入电场,恰好经过 BC 的中点 G。不计粒子的重力,下列说法正确的是　(　　)



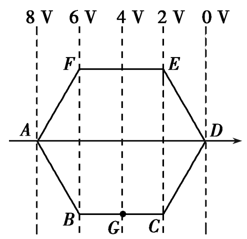
A.该粒子一定带负电

B.该粒子到达点 G 时的动能为 20 eV

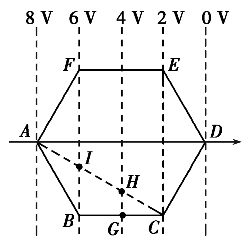
C.只改变粒子在 A 点初速度的方向，该粒子不可能经过 C

D.若该粒子以不同速率从 D 点沿 DF 方向入射，该粒子可能垂直经过 CE

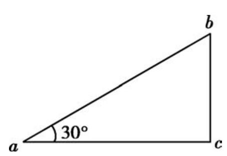
答案 AC 根据题设条件结合正六边形的特点得等势线分布情况如图，电场强度方向为由 A 指向 D，由粒子的运动情况知粒子受向左的电场力，则粒子带负电，A 正确；粒子从 A 点到 G 点过程中电场力做负功，粒子动能减小了 $\Delta E_k=8$ eV，则到达点 G 时的动能为 4 eV，B 错误；由图可知，粒子若能运动到 C 点电场力做功 -12 eV，粒子动能为零，而粒子只有沿 AD 方向运动，动能才可能为零，可知其显然不能到达 C 点，C 正确；粒子从 D 点沿 DF 方向入射，受向左的电场力作用，做类斜抛运动，粒子过 CE 时，将其速度分解知其有沿 CE 方向的分速度和水平向左的分速度，则该粒子不可能垂直经过 CE，D 项错误。



解题关键 ①已知匀强电场平行于正六边形 $ABCDEF$ 所在平面，则电场线和等差等势线都是平行等距直线。②连接 A、C 且三等分，得到 H、I 两点，则 I 点电势为 6 V，可知 B、I 两点在同一等势线上，则可作出等差等势线及电场线。③依据匀强电场的基本规律解题。



2.(2020 届河南安阳联考,6) 如图所示，匀强电场中有 a、b、c 三点，在以它们为顶点的三角形中，$\angle a=30°$，$\angle c=90°$。电场方向与三角形所在平面平行。已知 a、b 和 c 点的电势分别为 $(2-\sqrt{3})$ V、$(2+\sqrt{3})$ V 和 2 V。该三角形的外接圆上最低、最高电势分别为 ( )



A.$(2-\sqrt{3})$ V、$(2+\sqrt{3})$ V

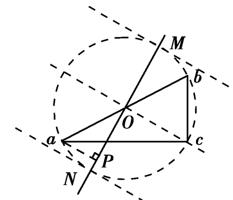
B.0、4 V

C.$\left(2-\dfrac{4\sqrt{3}}{3}\right)$ V、$\left(2+\dfrac{4\sqrt{3}}{3}\right)$ V

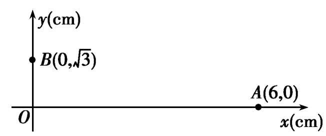
D.0、$2\sqrt{3}$ V

答案 B 本题考查了等势线与电场线的关系，体现了科学思维中科学论证要素。

如图所示，圆心 O 是 ab 的中点，所以圆心 O 点的电势为 2 V，所以 Oc 是等势线，则电场线如图中 MN 所示，方向由 M 指向 N。沿电场线方向电势均匀降低，过圆心的电势为 2 V，作 $aP\perp MN$，则 aP 为等势线，则 $U_{OP}=\varphi_O-\varphi_a=\sqrt{3}$ V，$U_{ON}:U_{OP}=ON:OP=1:\cos 30°$，解得 $U_{ON}=2$ V，则圆周上电势最低为 0，最高为 4 V，选 B。

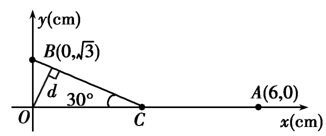


3.(2018 江西南昌调研,5) 如图所示，在平面直角坐标系中，有方向平行于坐标平面的匀强电场，其中坐标原点 O 处的电势为 0 V，点 A 处的电势为 6 V，点 B 处的电势为 3 V，则电场强度的大小为 ( )



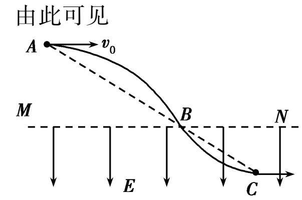
A.200 V/m
B.$200\sqrt{3}$ V/m
C.100 V/m
D.$100\sqrt{3}$ V/m

答案 A 设 OA 中点为 C，由 $\dfrac{U_{AC}}{AC}=\dfrac{U_{CO}}{CO}$ 可得 C 点的电势 $\varphi_C=3$ V，$\varphi_C=\varphi_B$，即 B、C 在同一等势面上，如图，由电场线与等势面的关系和几何关系知：$d=1.5$ cm。则 $E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{3}{1.5\times10^{-2}}$ V/m $=200$ V/m，A 正确。



方法 2 对带电粒子在匀强电场与重力场的复合场中运动的处理方法

1.(2018 山西大同质检,9,4 分)(多选) 在空间中水平面 MN 的下方存在竖直向下的匀强电场，质量为 m 的带电小球由 MN 上方的 A 点以一定初速度水平抛出，从 B 点进入电场，到达 C 点时速度方向恰好水平，A、B、C 三点在同一直线上，且 $AB=2BC$，如图所示。由此可见 ( )



A.电场力为 $3mg$

B.小球带正电

C.小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的运动时间相等

D.小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的速度变化量的大小相等

答案 AD 由题图知在电场中，小球受合外力竖直向上，故电场力竖直向上，与电场方向相反，故小球带负电，B 错误；小球在水平方向始终做匀速运动，从 A 到 B 与从 B 到 C 水平位移不同，根据 $x=vt$ 知运动时间不同，C 错误；设在 B 点竖直方向速度为 v_y，则从 A 到 B 有 $v_y^2=2gh_1$，从 B 到 C 有 $v_y^2=2ah_2$，其中 $a=\dfrac{qE-mg}{m}$，$h_1=2h_2$，解得 $qE=3mg$，A 正确；从 A 到 B 速度变化量大小为 v_y，从 B 到 C 速度变化量大小也为 v_y，速度变化量方向不同，大小相同，D 正确。

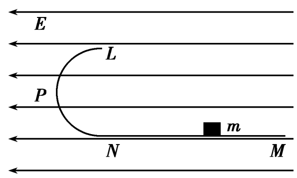
2.(2018 河南开封模拟,15) 如图所示，现有一个带正电小物块，质量 $m=20$ g，电荷量 $q=2\times10^{-4}$ C，与水平轨道之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，处在水平向左的匀强电场中，电场强度 $E=1\times10^3$ V/m。在水平轨道的末端 N 处，连接一个光滑的半圆形轨

道,半径 $R=40$ cm,取 $g=10$ m/s²,求:

(1)若小物块恰好能运动到轨道的最高点,则小物块在轨道最高点时速度的大小;

(2)若小物块恰好能运动到轨道的最高点,则小物块应该从距 N 点多远处由静止释放?

(3)若在(2)小题中原位置释放小物块,则在从释放到最高点的过程中,小物块在距水平轨道多高处动能最大?(结果可保留根号)



答案 (1)2 m/s (2)1.25 m (3)$\frac{2-\sqrt{2}}{5}$ m

解析 (1)小物块能通过轨道最高点的临界条件是 $mg=m\frac{v^2}{R}$

解得 $v=2$ m/s

(2)设小物块释放位置距 N 点的水平距离为 x

$Eqx-\mu mgx-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv^2$

解得 $x=1.25$ m

即小物块应该从水平轨道距 N 点为 1.25 m 处由静止释放

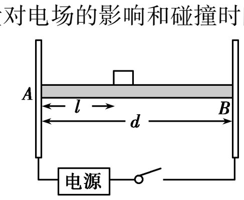
(3)因为 $Eq=0.2$ N,$mg=0.2$ N,所以 $Eq=mg$

当电场力与重力的合力沿半径方向时,小物块的速度最大,也就是动能最大

此时,物块与圆心连线与竖直方向成 45°角,则:

$h=R-R\cos 45°=\frac{2-\sqrt{2}}{5}$ m

3.(2020 届东北三校联考,14)如图所示,相距为 d 的平行金属板 A、B 竖直放置,在两板之间水平放置一绝缘平板。有一质量 m、电荷量 $q(q>0)$ 的小物块(可看成质点)在与金属板 A 相距 l 处静止。若某一时刻在金属板 A、B 间加一电压 $U=\frac{3\mu mgd}{2q}$,B 板带正电,A 板带负电,小物块与金属板只发生了一次碰撞,碰撞后电荷量变为 $-\frac{q}{2}$,并以与碰前大小相等的速度反方向弹回。已知小物块与绝缘平板间的动摩擦因素为 μ,若不计小物块电荷量对电场的影响和碰撞时间。则



(1)小物块与金属板 A 碰撞前瞬间的速度大小是多少?

(2)小物块碰撞后经过多长时间停止运动?停在何位置?

答案 (1)$\sqrt{\mu gl}$

(2)$4\sqrt{\frac{l}{\mu g}}$ 距离 A 板为 $2l$ 或距离 B 板为 $d-2l$

解析 本题考查了带电粒子在电场力和其他力作用下的运动,体现了科学思维中的模型建构要素。

(1)加电压后,B 板电势高于 A 板,小物块在电场力与摩擦力共同作用下向 A 板做匀加速直线运动。电场强度为 $E=\frac{U}{d}=\frac{3\mu mg}{2q}$,小物块所受的电场力与摩擦力方向相反,则合外力为 $F_{合}=qE-\mu mg=\frac{1}{2}\mu mg$,故小物块运动的加速度为 $a_1=\frac{F_{合}}{m}=\frac{1}{2}\mu g$

设小物块与 A 板相碰时的速度为 v_1,由 $v_1^2=2a_1l$ 解得 $v_1=\sqrt{\mu gl}$

(2)小物块与 A 板相碰后以与 v_1 大小相等的速度反弹,因为电荷量及电性改变,电场力大小与方向发生变化,摩擦力的方向发生改变,小物块所受的合外力大小为 $F_{合}'=\mu mg-\frac{qE}{2}=\frac{1}{4}\mu mg$,加速度大小为 $a_2=\frac{F_{合}'}{m}=\frac{1}{4}\mu g$

设小物块碰后到停止的时间为 t,注意到末速度为零,有 $0-v_1=-a_2t$

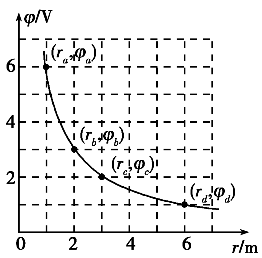
解得 $t=\frac{v_1}{a_2}=4\sqrt{\frac{l}{\mu g}}$

设小物块碰后到停止时距离为 x,注意到末速度为零,有 $0-v_1^2=-2a_2x$

则 $x=\frac{v_1^2}{2a_2}=2l$,距离 A 板为 $2l$ 或距离 B 板为 $d-2l$

方法 3 静电场中涉及图像问题的处理方法

1.(2017 课标Ⅰ,20,6 分)(多选)在一静止点电荷的电场中,任一点的电势 φ 与该点到点电荷的距离 r 的关系如图所示。电场中四个点 a、b、c 和 d 的电场强度大小分别为 E_a、E_b、E_c 和 E_d。点 a 到点电荷的距离 r_a 与点 a 的电势 φ_a 已在图中用坐标(r_a,φ_a)标出,其余类推。现将一带正电的试探电荷由 a 点依次经 b、c 点移动到 d 点,在相邻两点间移动的过程中,电场力所做的功分别为 W_{ab}、W_{bc} 和 W_{cd}。下列选项正确的是( )



A.$E_a:E_b=4:1$ B.$E_c:E_d=2:1$

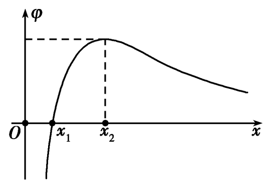
C.$W_{ab}:W_{bc}=3:1$ D.$W_{bc}:W_{cd}=1:3$

答案 AC 本题考查场强与电势。由图可知:$r_a=1$ m、$\varphi_a=6$ V;$r_b=2$ m、$\varphi_b=3$ V;$r_c=3$ m、$\varphi_c=2$ V;$r_d=6$ m、$\varphi_d=1$ V。由点电荷的场强公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 得 $E_a:E_b:E_c:E_d=\frac{1}{r_a^2}:\frac{1}{r_b^2}:\frac{1}{r_c^2}:\frac{1}{r_d^2}=36:9:4:1$,A 正确、B 错误。由 $W_{AB}=qU_{AB}=q(\varphi_A-\varphi_B)$ 得 $W_{ab}:W_{bc}:W_{cd}=(\varphi_a-\varphi_b):(\varphi_b-\varphi_c):(\varphi_c-\varphi_d)=3:1:1$,故 C 正确、D 错误。

方法技巧 电场力做功的计算方法

定量计算电场力做功时,第一种方法是利用 $W=qU$;第二种方法是利用功能关系即电场力所做的功等于电势能的变化量;第三种方法是利用动能定理;第四种方法是由功的定义得 $W=qEl\cos\alpha$。其中最后一种方法仅适用于匀强电场中。

2.(2017 江苏单科,8,4 分)(多选)在 x 轴上有两个点电荷 q_1、q_2,其静电场的电势 φ 在 x 轴上分布如图所示。下列说法正确的有 ( )



A.q_1 和 q_2 带有异种电荷

B.x_1 处的电场强度为零

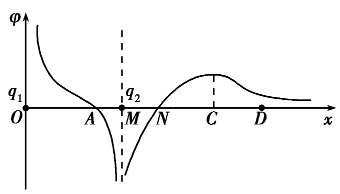
C.负电荷从 x_1 移到 x_2,电势能减小

D.负电荷从 x_1 移到 x_2,受到的电场力增大

答案 AC 本题考查识别 $\varphi-x$ 图像、场强与电势差的关系、电场力做功与电势能变化关系。$\varphi-x$ 图线的切线斜率表示场强,由图可知从 x_1 到 x_2 过程中,图线切线斜率变小,到 x_2 处斜率为0,即场强从 x_1 到 x_2 一直减小,且 $E_2=0$,电场力 $F=Eq$,负电荷从 x_1 移动到 x_2,受到电场力减小,选项 B、D 错误;沿 x 轴方向电势由负到正,故 x 轴上的两个电荷 q_1、q_2 为异种电荷,选项 A 正确;由图可知 $\varphi_{x1}<\varphi_{x2}$,负电荷由低电势到高电势,电场力做正功,电势能减小,选项 C 正确。

解题关键 由 $U=Ed$ 知 $\varphi-x$ 图线切线斜率表示场强 E,$\varphi_{x1}=0$,q_1、q_2 分布在 x_1 的两侧。

3.两电荷量分别为 q_1 和 q_2 的点电荷放在 x 轴上的 O、M 两点,两电荷连线上各点电势 φ 随 x 变化的关系如图所示,其中 A、N 两点的电势为零,ND 段中 C 点电势最高,则下列选项说法错误的是 ( )



A.q_1 为正电荷,q_2 为负电荷

B.q_1 的电荷量大于 q_2 的电荷量

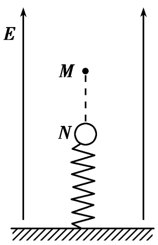
C.N、C 间场强方向沿 x 轴正方向

D.将一负点电荷从 N 点移到 D 点,电场力先做正功后做负功

答案 C 由图知无穷远处的电势为0,A 点的电势为0,由于沿着电场线电势降低,所以 q_1 为正电荷,q_2 为负电荷,故 A 正确。A 点的电势为零,又由于 $OA>AM$,所以 q_1 的电荷量大于 q_2 的电荷量,故 B 正确。由图可知:从 N 到 C,电势升高,根据沿着电场线电势降低可知,N、C 间电场强度方向沿 x 轴负方向,故 C 错误。$N\to D$ 段中,电势先升高后降低,所以场强方向先沿 x 轴负方向,后沿 x 轴正方向,将一负点电荷从 N 点移到 D 点,电场力先做正功后做负功,故 D 正确。

方法4 用能量观点处理带电体在电场中运动的方法

1.(多选)如图所示,竖直向上的匀强电场中,一竖直绝缘轻弹簧的下端固定在地面上,上端拴接一带电小球,小球静止时位于 N 点,弹簧恰好处于原长状态。保持小球的带电荷量不变,现将小球提高到 M 点由静止释放。则释放后小球从 M 运动到 N 的过程中 ( )



A.小球的机械能与弹簧的弹性势能之和保持不变

B.小球重力势能的减少量等于小球电势能的增加量

C.弹簧弹性势能的减少量等于小球动能的增加量

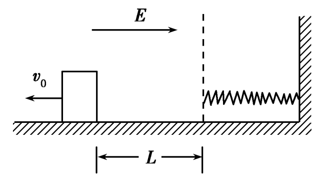
D.小球动能的增加量等于电场力和重力做功的代数和

答案 BC 小球静止时位于 N 点,弹簧恰好处于原长状态,则小球受到向上的电场力和向下的重力平衡,$Eq=mg$。小球从 M 运动到 N 的过程中,由于有电场力做负功,故小球的机械能与弹簧的弹性势能之和减小,选项 A 错误;由于电场力等于重力,故小球重力势能的减少量等于小球电势能的增加量,重力做的功等于克服电场力做的功,由动能定理有:$W_G-W_{电}+W_{弹}=\Delta E_k$,故弹簧弹性势能的减少量等于小球动能的增加量,选项 B、C 正确,D 错误。

2.如图所示,在绝缘水平面上放有一带正电的滑块,质量为 m,带电荷量为 q,水平面上方虚线左侧空间有水平向右的匀强电场,场强为 E,$qE>\mu mg$,虚线右侧的水平面光滑。一轻弹簧右端固定在墙上,处于原长时,左端恰好位于虚线位置,把滑块放到虚线左侧 L 处,并给滑块一个向左的初速度 v_0,已知滑块与左侧绝缘水平面间的动摩擦因数为 μ,求:

(1)弹簧的最大弹性势能;

(2)滑块在整个运动过程中产生的热量。



答案 (1)$(qE-\mu mg)L+\dfrac{(qE-\mu mg)mv_0^2}{2(qE+\mu mg)}$ (2)$qEL+\dfrac{1}{2}mv_0^2$

解析 (1)设滑块向左运动 x 时减速到零,由动能定理有

$$-(qE+\mu mg)x=0-\frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $x=\dfrac{mv_0^2}{2(qE+\mu mg)}$

之后滑块向右加速运动,设第一次到达虚线时的动能为 E_k。由能量守恒定律得:

$$qE(x+L)=E_k+\mu mg(x+L)$$

解得 $E_k=(qE-\mu mg)L+\dfrac{(qE-\mu mg)mv_0^2}{2(qE+\mu mg)}$

滑块从虚线处开始压缩弹簧至弹簧最短的过程,滑块与弹簧组成的系统机械能守恒,动能全部转化为弹性势能,所以弹簧的最大弹性势能为

$$E_{pm}=E_k=(qE-\mu mg)L+\frac{(qE-\mu mg)mv_0^2}{2(qE+\mu mg)}$$

(2)滑块往返运动,最终停在虚线位置,整个过程电场力做正功,为 $W=qEL$,电势能减少量为 qEL,由能量守恒定律,整个过程产生的热量等于滑块机械能的减少量与电势能的减少量之和,即 $Q=qEL+\dfrac{1}{2}mv_0^2$。

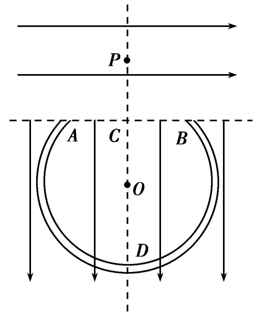
3.如图所示,一内壁光滑的绝缘圆管 AB 固定在竖直平面内。圆管的圆心为 O,D 点为圆管的最低点,A、B 两点在同一水平线上,$AB=2L$,圆管的半径为 $r=\sqrt{2}L$(圆管的管径忽略不计),过 OD 的虚线与过 AB 的虚线垂直相交于 C 点。在虚线 AB 的上方存在水平向右的、范围足够大的匀强电场;虚线 AB 的下方存在竖直向下的、范围足够大的匀强电场,电场强度大小等于 $\dfrac{mg}{q}$。圆心 O 正上方的 P 点有一质量为 m、电荷量为 $-q(q>0)$ 的绝缘小物体(小物体可视为质点),P、C 间距为 L。现将该小

物体无初速释放，经过一段时间，小物体刚好沿切线无碰撞地进入圆管内，并继续运动。重力加速度用 g 表示。

(1)虚线 AB 上方匀强电场的电场强度为多大？

(2)小物体从管口 B 离开后，经过一段时间的运动落到虚线 AB 上的 N 点(图中未标出 N 点)，则 N 点距离 C 点多远？

(3)小物体由 P 点运动到 N 点的总时间为多少？



答案　(1)$\frac{mg}{q}$　(2)$7L$

(3)$\left(3+\frac{3}{4}\pi\right)\sqrt{\frac{2L}{g}}$

解析　(1)小物体无初速释放后在重力、电场力的作用下做匀加速直线运动，小物体刚好沿切线无碰撞地进入管内，故小物体刚好沿 PA 连线运动，重力与电场力的合力沿 PA 方向，又 $PC=AC=L$，故 $\tan 45°=\frac{mg}{qE_1}$，解得 $E_1=\frac{mg}{q}$。

(2)对小物体从 P 到 A 的运动由动能定理可得：$mgL+qE_1L=\frac{1}{2}mv_A^2$

解得：$v_A=2\sqrt{gL}$

虚线 AB 的下方存在竖直向下的、范围足够大的匀强电场，电场强度大小 $E_2=\frac{mg}{q}$，电荷量为 $-q(q>0)$ 的绝缘小物体所受电场力 $F_2=qE_2=mg$，方向竖直向上，故小物体从 A 到 B 做匀速圆周运动，$v_B=v_A=2\sqrt{gL}$，小物体从管口 B 离开后，经过一段时间的运动落到虚线 AB 上的 N 点，

竖直方向：$t=\frac{2v_B\sin 45°}{g}$

解得 $t=2\sqrt{\frac{2L}{g}}$

水平方向：$x=(v_B\cos 45°)t+\frac{1}{2}at^2$

$qE_1=ma$

解得 $x=8L$

N 点距离 C 点：$x_{NC}=x-L=7L$。

(3)设小物体从 P 点到 A 点的时间为 t_1，则

$\sqrt{2}L=\frac{1}{2}v_At_1$

解得 $t_1=\sqrt{\frac{2L}{g}}$

设小物体从 A 到 B 的时间为 t_2，则

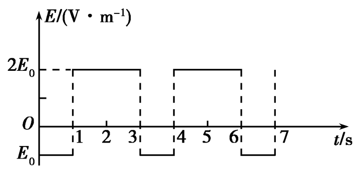
$t_2=\frac{\frac{3}{4}\times 2\pi\times\sqrt{2}L}{v_A}=\frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{2L}{g}}$

小物体由 P 点运动到 N 点的总时间

$t_总=t+t_1+t_2=\left(3+\frac{3\pi}{4}\right)\sqrt{\frac{2L}{g}}$。

方法 5　带电粒子在交变电场中运动的处理方法

1.(2018 东北三校联考,9)一匀强电场的电场强度 E 随时间 t 变化的图像如图所示，在该匀强电场中，有一个带电粒子于 $t=0$ 时刻由静止释放，若带电粒子只受电场力作用，则下列说法中正确的是　(　　)



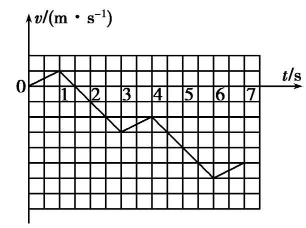
A.4 s 末带电粒子回到出发点

B.2.5~4 s 内，电场力所做的功等于零

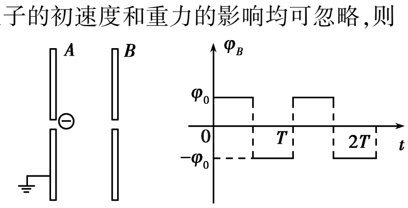
C.0.5~18 s 内，速度变化量大小为 17.5 m/s

D.3~6 s 内，带电粒子的位移大小为 10.5 m

答案　B　根据 $E-t$ 图像可画出粒子的速度-时间图像大致如图所示，$v-t$ 图线与时间轴围成的面积表示位移，4 s 末带电粒子位移不是零，没有回到出发点，选项 A 错误；2.5 ~ 4 s 内，初、末时刻带电粒子的速度相等，电场力所做的功等于零，选项 B 正确；带电粒子的电荷量、质量和电场强度大小未知，不能计算出带电粒子的速度变化量和位移的大小，选项 C、D 错误。



2.(2018 河南中原名校联考,9)(多选)如图甲所示，A、B 是一对平行金属板。A 板的电势 $\varphi_A=0$，B 板的电势 φ_B 随时间的变化规律如图乙所示，现有一电子从 A 板上的小孔进入两板间的电场区内，电子的初速度和重力的影响均可忽略，则　(　　)



甲　　　　乙

A.若电子是在 $t=0$ 时刻进入的，它可能不会到达 B 板

B.若电子是在 $t=\frac{T}{2}$ 时刻进入的，它一定不能到达 B 板

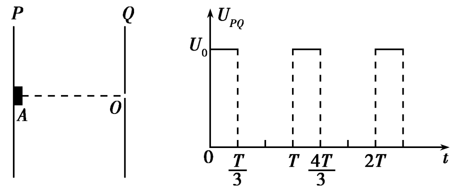
C.若电子是在 $t=\frac{T}{8}$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，最后穿过 B 板

D.若电子是在 $t=\frac{3T}{8}$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，最后穿过 B 板

答案　BC　若电子从 $t=0$ 时刻进入，电子将做单向直线运动，会到达 B 板，选项 A 错误；若电子从 $t=\frac{T}{2}$ 时刻进入，则电子受到电场力方向向左，故无法到达 B 板，选项 B 正确；若电子从 $t=\frac{T}{4}$ 时刻进入，电子先加速，经 $\frac{T}{4}$ 时速度最大，此时电子受到的电场力反向，经 $\frac{T}{4}$ 速度减为零，再经 $\frac{T}{4}$ 反向加速速度最大，接着减速 $\frac{T}{4}$ 回到原位置，则知电子在大于 $\frac{T}{4}$ 小于 $\frac{T}{2}$ 间某

时刻进入时不一定能到达 B 板,在小于 $\frac{T}{4}$ 的某时刻进入时一定能到达 B 板,选项 C 正确,D 错误。

3.如图甲所示,真空中竖直放置两块相距为 d 的平行金属板 P、Q,两板间加上如图乙所示最大值为 U_0 的周期性变化的电压,在紧靠 P 板处有粒子源 A,自 $t=0$ 开始连续释放初速度不计的粒子,经一段时间后粒子从 Q 板小孔 O 射出电场,已知粒子质量为 m,电荷量为 $+q$,不计粒子重力及相互间的作用力,电场变化周期 $T=3d\sqrt{\frac{2m}{qU_0}}$。试求:



甲 乙

(1)$t=0$ 时刻释放的粒子在 P、Q 间运动的时间;

(2)粒子射出电场时的最大速率和最小速率。

答案 (1)$d\sqrt{\frac{2m}{qU_0}}$

(2)$\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$ $(\sqrt{5}-2)\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$

解析 (1)$t=0$ 时刻释放的粒子在 $0\sim\frac{T}{3}$ 时间内一直做匀加速直线运动,设其加速度大小为 a,位移为 x,则

$q\frac{U_0}{d}=ma, x=\frac{1}{2}a(\frac{T}{3})^2$

解得 $a=\frac{qU_0}{dm}$

$x=\frac{1}{2}\cdot\frac{qU_0}{dm}\cdot(\frac{1}{3}T)^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{qU_0}{dm}\cdot(d\sqrt{\frac{2m}{qU_0}})^2=d$

可见,该粒子在 $0\sim\frac{T}{3}$ 时间内恰好运动到 O 处,该粒子在 P、Q 间的运动时间为 $\frac{1}{3}T=d\sqrt{\frac{2m}{qU_0}}$

(2)分析可知,在 $t=0$ 时刻释放的粒子一直在电场中加速,对应射出电场时的速率最大

设最大速率为 v_{max},由运动学公式得:$v_{max}=a\cdot\frac{T}{3}=\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$

设在 t_1 时刻释放的粒子先做匀加速直线运动,经时间 Δt 后,再做匀速直线运动,在 T 时刻恰好由小孔 O 射出电场。设此时粒子的速度大小为 v_1,则由运动学公式得:

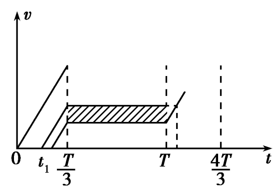
$\frac{1}{2}a(\Delta t)^2+a\Delta t\times\frac{2}{3}T=\frac{1}{2}a(\frac{1}{3}T)^2, v_1=a\cdot\Delta t$

解得 $\Delta t=\frac{\sqrt{5}-2}{3}T$

$v_1=a\cdot\Delta t=(\sqrt{5}-2)\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$

如图所示是大致表示不同时刻进入电场的粒子的 $v-t$ 图像,由图知,在 t_1 至 $\frac{T}{3}$ 时间内某时刻进入电场的粒子,其运动过程为先加速,后匀速,再加速;当速度达到 $v_1=a\cdot\Delta t$ 时,粒子还未运动到小孔 O 处。图中阴影的面积等于粒子此时到小孔的距离。粒子需再经加速后方可到达 O 处,此时速度已大于 v_1。所以,速率 v_1 是粒子射出电场时的最小速率,即

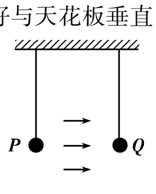
$v_{min}=(\sqrt{5}-2)\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$



5年高考 2015-2019 对应学生用书 起始页码 242

A组 基础题组

1.(2019 课标Ⅰ,15,6 分)如图,空间存在一方向水平向右的匀强电场,两个带电小球 P 和 Q 用相同的绝缘细绳悬挂在水平天花板下,两细绳都恰好与天花板垂直,则 ( )



A.P 和 Q 都带正电荷

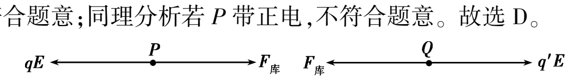
B.P 和 Q 都带负电荷

C.P 带正电荷,Q 带负电荷

D.P 带负电荷,Q 带正电荷

答案 D 本题考查库仑力的性质以及学生对基本知识的理解能力,体现了运动与相互作用观念核心素养。

两细绳都恰好与天花板垂直说明两小球水平方向都处于平衡状态。设匀强电场场强为 E,P 所带电荷量大小为 q,Q 所带电荷量大小为 q'。若 P 带负电,对 P 分析如图甲所示,此时 Q 应带正电,对 Q 分析如图乙所示,两细绳可与天花板垂直,符合题意;同理分析若 P 带正电,不符合题意。故选 D。



甲 乙

思路分析 假设 P 带正电,分析 P 与 Q 能否同时达到平衡状态;再假设 P 带负电,分析 P 与 Q 能否同时达到平衡状态。

2.(2019 课标Ⅱ,20,6 分)(多选)静电场中,一带电粒子仅在电场力的作用下自 M 点由静止开始运动,N 为粒子运动轨迹上的另外一点,则 ( )

A.运动过程中,粒子的速度大小可能先增大后减小

B.在 M、N 两点间,粒子的轨迹一定与某条电场线重合

C.粒子在 M 点的电势能不低于其在 N 点的电势能

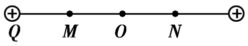
D.粒子在 N 点所受电场力的方向一定与粒子轨迹在该点的切线平行

答案 AC 本题考查带电粒子在电场中运动的问题,体现了能量观念、科学推理等核心素养。

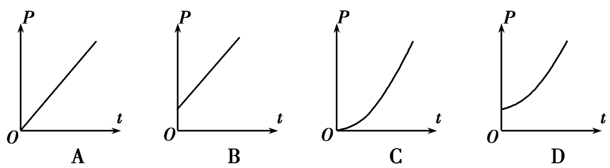
粒子仅在电场力作用下由静止开始运动,运动过程中,电场力可能先做正功后做负功,速度可能先增大后减小,A 正确;

若电场线为曲线,则粒子运动的轨迹与电场线不重合,B 错误;由能量守恒定律知动能与电势能之和恒定,而粒子在 N 点有动能或动能为 0,则粒子在 N 点的电势能不可能高于在 M 点的电势能,C 正确;粒子在 N 点所受电场力的方向沿电场线切线方向,与轨迹切线不一定平行,D 错误。

思路分析　如图所示,在等量同种点电荷形成的电场中,带正电的粒子在 M 点由静止释放,其将在 M、N 之间做往复运动,在 $M\to N$ 过程,粒子速度先增大后减小。



3.(2019 江苏单科,5,3 分)一匀强电场的方向竖直向上。$t=0$ 时刻,一带电粒子以一定初速度水平射入该电场,电场力对粒子做功的功率为 P,不计粒子重力,则 P-t 关系图像是　(　　)

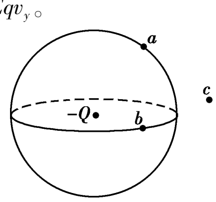


答案　A　本题考查带电粒子在匀强电场中运动的图像问题,突出对理解能力和应用数学知识处理物理问题能力的考查,体现了运动与相互作用观念和科学推理、科学论证的核心素养要素。

竖直方向上,根据牛顿第二定律得 $Eq=ma$,则 $a=\frac{Eq}{m}$,又因为 $v_y=at$,$P=qEv_y$,得 $P=\frac{E^2q^2}{m}t=kt$(k 为常数),故选项 A 正确。

解题关键　带电粒子以一定的初速度水平射入匀强电场,粒子在水平方向上做匀速直线运动,且不影响电场力的功率。粒子在竖直方向上,在电场力的作用下(忽略重力),做匀加速直线运动,故电场力对粒子做功的功率 $P=Eqv_y$。

4.(2019 北京理综,17,6 分)如图所示,a、b 两点位于以负点电荷 $-Q$($Q>0$)为球心的球面上,c 点在球面外,则　(　　)



A.a 点场强的大小比 b 点大

B.b 点场强的大小比 c 点小

C.a 点电势比 b 点高

D.b 点电势比 c 点低

答案　D　本题考查了负点电荷的电场强度和电势的空间分布规律,考查了考生对几种常见电场的电场强度和电势分布规律的识记能力,体现了模型建构的核心素养。

由点电荷形成电场的电场强度 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 可知,图示球面上 a、b 两点的场强大小相等,方向不同,b 点场强的大小比 c 点大,故选项 A、B 错误;a、b 两点在同一球面即等势面上,故 a、b 两点电势相等,选项 C 错误;负点电荷形成的电场,电场线指向场源电荷,电场线方向是电势降低的方向,则 c 点电势高于 a、b 两点的电势,选项 D 正确。

5.(2016 课标Ⅲ,15,6 分)关于静电场的等势面,下列说法正确的是　(　　)

A.两个电势不同的等势面可能相交

B.电场线与等势面处处相互垂直

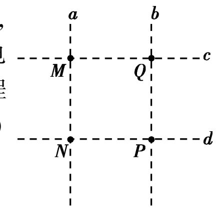
C.同一等势面上各点电场强度一定相等

D.将一负的试探电荷从电势较高的等势面移至电势较低的等势面,电场力做正功

答案　B　假设两个电势不同的等势面相交,则交点处的电势就是两个不同的值,这是不可能的,A 错误;同一等势面上各点电势相等,而场强不一定相等,C 错误;负电荷从高电势处移到低电势处,电势能增加,电场力做负功,D 错误。

方法技巧　用类比法理解电荷在电场中运动的过程中电场力做功以及电势能变化情况:一块石头从山顶(高地势处)滚落到山脚(低地势处),重力势能减少,重力做正功。与此类似,正电荷从高电势处向低电势处移动,电势能减少,电场力做正功,所以,可将正电荷与石头类比。如果是负电荷的运动,只要把正电荷电势能变化、电场力做功情况反过来就可以了。

6.(2015 课标Ⅰ,15,6 分)如图,直线 a、b 和 c、d 是处于匀强电场中的两组平行线,M、N、P、Q 是它们的交点,四点处的电势分别为 φ_M、φ_N、φ_P、φ_Q。一电子由 M 点分别运动到 N 点和 P 点的过程中,电场力所做的负功相等。则　(　　)



A.直线 a 位于某一等势面内,$\varphi_M>\varphi_Q$

B.直线 c 位于某一等势面内,$\varphi_M>\varphi_N$

C.若电子由 M 点运动到 Q 点,电场力做正功

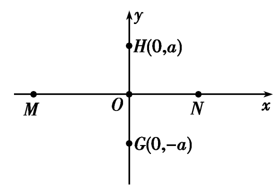
D.若电子由 P 点运动到 Q 点,电场力做负功

答案　B　由电子从 M 点分别运动到 N 点和 P 点的过程中,电场力所做的负功相等可知,$\varphi_M>\varphi_N=\varphi_P$,故过 N、P 点的直线 d 位于某一等势面内,则与直线 d 平行的直线 c 也位于某一等势面内,选项 A 错、B 正确;$\varphi_M=\varphi_Q$,则电子由 M 点运动到 Q 点,电场力不做功,选项 C 错误;由于 $\varphi_P<\varphi_M=\varphi_Q$,电子由 P 点运动到 Q 点,电势能减小,电场力做正功,选项 D 错误。

解题关键　①电子带负电荷。②由"一电子由 M 点分别运动到 N 点和 P 点的过程中,电场力所做的负功相等"知 N、P 两点在同一等势线上,则直线 c、d 为匀强电场中的等势线。③由于匀强电场中电场线与等势线垂直可知,a 和 b 为电场线。④由于电场力对电子做负功,可知电场方向为 $M\to N$。

知识总结　①匀强电场中电场线和等势线分别是相互垂直的两组平行线。②电场力对电场中运动电荷做的功 $W=q\Delta\varphi$。

7.(2015 山东理综,18,6 分)直角坐标系 xOy 中,M、N 两点位于 x 轴上,G、H 两点坐标如图。M、N 两点各固定一负点电荷,一带电荷量为 Q 的正点电荷置于 O 点时,G 点处的电场强度恰好为零。静电力常量用 k 表示。若将该正点电荷移到 G 点,则 H 点处场强的大小和方向分别为　(　　)

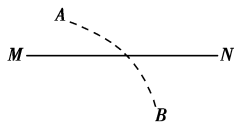


A.$\frac{3kQ}{4a^2}$,沿 y 轴正向　　B.$\frac{3kQ}{4a^2}$,沿 y 轴负向

C.$\frac{5kQ}{4a^2}$,沿 y 轴正向　　D.$\frac{5kQ}{4a^2}$,沿 y 轴负向

答案　B　M、N 两处的负点电荷在 G 处产生的合场强 E_1 与 O 点处正点电荷在 G 处产生的场强等大反向,所以 $E_1=\frac{kQ}{a^2}$,方向沿 y 轴正向,因为 H 与 G 关于 x 轴对称,所以 M、N 两处的负点电荷在 H 处产生的合场强 $E_2=E_1=\frac{kQ}{a^2}$,方向沿 y 轴负向。当正点电荷放在 G 点时,它在 H 点产生的场强 $E_3=\frac{kQ}{(2a)^2}$,方向沿 y 轴正向,则 H 处的场强为 $E_H=\frac{kQ}{a^2}-\frac{kQ}{(2a)^2}=\frac{3kQ}{4a^2}$,方向沿 y 轴负向,B 正确。

8.(2017天津理综,7,6分)(多选)如图所示,在点电荷 Q 产生的电场中,实线 MN 是一条方向未标出的电场线,虚线 AB 是一个电子只在静电力作用下的运动轨迹。设电子在 A、B 两点的加速度大小分别为 a_A、a_B,电势能分别为 E_{pA}、E_{pB}。下列说法正确的是 ( )



A.电子一定从 A 向 B 运动

B.若 $a_A>a_B$,则 Q 靠近 M 端且为正电荷

C.无论 Q 为正电荷还是负电荷一定有 $E_{pA}<E_{pB}$

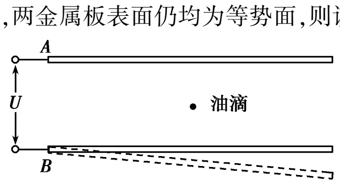
D.B 点电势可能高于 A 点电势

答案 BC 本题考查带电粒子在电场中的运动。电子的运动轨迹为曲线,由曲线运动的产生条件可知电子在 MN 电场线上受力方向为水平向左,因此电场线方向为水平向右($M\to N$),若 $a_A>a_B$,则 A 靠近场源电荷 Q,即 Q 靠近 M 端且为正电荷,选项B正确;若电子由 $A\to B$,则水平向左的电场力与轨迹切线方向的速度夹角大于90°,电场力做负功,电势能增加,即 $E_{pA}<E_{pB}$,若电子由 $B\to A$,则电场力方向与速度方向夹角小于90°,电场力做正功,电势能减小,$E_{pA}<E_{pB}$,选项C正确,A错误;由 $E_p=q\varphi$,$\varphi=\frac{E_p}{q}$ 知,负电荷在高电势处电势能小,在低电势处电势能大,可知 $\varphi_A>\varphi_B$,选项D错误。

方法技巧 运动轨迹与电场线关系

①曲线运动的受力方向指向轨迹的凹侧。②受电场力方向在电场线所在直线上(切线所在直线上)。③速度方向为轨迹的切线方向。④正、负功的判断。⑤电势高低与电势能大小的关系。

9.(2018江苏单科,5,3分)如图所示,水平金属板 A、B 分别与电源两极相连,带电油滴处于静止状态。现将 B 板右端向下移动一小段距离,两金属板表面仍均为等势面,则该油滴 ( )



A.仍然保持静止 B.竖直向下运动

C.向左下方运动 D.向右下方运动

答案 D 水平金属板间电场沿竖直方向,等势面为一组水平面。带电油滴处于静止状态,说明油滴受到的电场力方向竖直向上且 $Eq=mg$。B 板右端向下移动一小段距离,两极板间电压不变,则两极板间的等势面右端同样向下弯曲。电场线与等势面垂直,同样产生弯曲,且电场强度减小。竖直方向上 $E_yq<mg$,水平方向上 E_xq 向右,故油滴向右下方运动,故D项正确。

关键点拨 物理情景的构建

①只需明确初始状态油滴的受力大小及方向即可,与场强的方向及油滴电性的正负无关。

②电场线与等势面垂直,分析等势面的分布状态变化是解题关键。

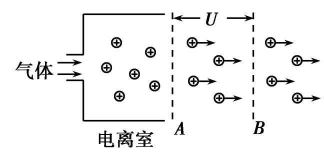
③分析水平和竖直两个方向上受力变化,从而判断油滴运动情况。

10.(2019天津理综,12,20分)2018年,人类历史上第一架由离子引擎推动的飞机诞生,这种引擎不需要燃料,也无污染物排放。引擎获得推力的原理如图所示,进入电离室的气体被电离成正离子,而后飘入电极 A、B 之间的匀强电场(初速度忽略不计),A、B 间电压为 U,使正离子加速形成离子束,在加速过程中引擎获得恒定的推力。单位时间内飘入的正离子数目为定值,离子质量为 m,电荷量为 Ze,其中 Z 是正整数,e 是元电荷。

(1)若引擎获得的推力为 F_1,求单位时间内飘入 A、B 间的正离子数目 N 为多少;

(2)加速正离子束所消耗的功率 P 不同时,引擎获得的推力 F 也不同,试推导 $\frac{F}{P}$ 的表达式;

(3)为提高能量的转换效率,要使 $\frac{F}{P}$ 尽量大,请提出增大 $\frac{F}{P}$ 的三条建议。



答案 (1)$\frac{F_1}{\sqrt{2ZemU}}$ (2)$\frac{F}{P}=\sqrt{\frac{2m}{ZeU}}$ (3)见解析

解析 本题通过正离子在电场中的运动考查了动能定理、牛顿运动定律等知识,以及学生的综合分析能力,体现了科学思维中模型建构、科学推理的素养要素。

(1)设正离子经过电极 B 时的速度为 v,根据动能定理,有

$$ZeU=\frac{1}{2}mv^2-0 \quad ①$$

设正离子束所受的电场力为 F_1',根据牛顿第三定律,有

$$F_1'=F_1 \quad ②$$

设引擎在 Δt 时间内飘入电极间的正离子个数为 ΔN,由牛顿第二定律,有

$$F_1'=\Delta Nm\frac{v-0}{\Delta t} \quad ③$$

联立①②③式,且 $N=\frac{\Delta N}{\Delta t}$ 得

$$N=\frac{F_1}{\sqrt{2ZemU}} \quad ④$$

(2)设正离子束所受的电场力为 F',由正离子束在电场中做匀加速直线运动,有

$$P=\frac{1}{2}F'v \quad ⑤$$

考虑到牛顿第三定律得到 $F'=F$,联立①⑤式得

$$\frac{F}{P}=\sqrt{\frac{2m}{ZeU}} \quad ⑥$$

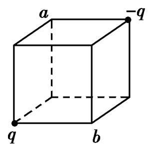
(3)为使 $\frac{F}{P}$ 尽量大,分析⑥式得到

三条建议:用质量大的离子;用带电荷量少的离子;减小加速电压。

解题关键 ①将题中引擎获得的推力转化为单位时间内所有正离子所受到的总作用力,此题也可以用动量定理求解,即 $F_1'\Delta t=\Delta Nm\Delta v$,故 $\frac{\Delta N}{\Delta t}=\frac{F_1'}{mv}=\frac{F_1}{\sqrt{2ZemU}}$;②加速离子束所消耗的功率即电场力对正离子做功的平均功率 $P=F'\cdot\bar{v}=\frac{1}{2}F'v$。

B组　提升题组

1.(2019 课标Ⅲ,21,6 分)(多选)如图,电荷量分别为 q 和 $-q$($q>0$)的点电荷固定在正方体的两个顶点上,a、b 是正方体的另外两个顶点。则　(　　)



A.a 点和 b 点的电势相等

B.a 点和 b 点的电场强度大小相等

C.a 点和 b 点的电场强度方向相同

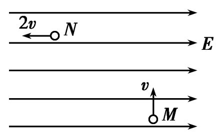
D.将负电荷从 a 点移到 b 点,电势能增加

答案　**BC**　本题通过两等量异种点电荷的电场考查了电场力的性质与电场能的性质,利用点电荷所处的空间位置考查了学生的推理能力,体现了运动与相互作用观念、能量观念等物理观念的素养要素。

由点电荷产生的电势分布可知 q 在 a 点产生的电势低于在 b 点产生的电势,$-q$ 在 a 点产生的电势也低于在 b 点产生的电势,故 $\varphi_a<\varphi_b$,再由 $E_p=q\varphi$ 可知负电荷在 a、b 两点的电势能 $E_{pa}>E_{pb}$,故 A、D 均错误。由点电荷的场强分布可知 q 在 a 点产生的场强与 $-q$ 在 b 点产生的场强完全相同,q 在 b 点产生的场强与 $-q$ 在 a 点产生的场强也完全相同,故 a 点与 b 点的总场强也完全相同,B、C 均正确。

知识储备　①点电荷产生的电势:离正场源电荷越近越高,离负场源电荷越近越低。②点电荷产生的场强大小 $E=\frac{kQ}{r^2}$,方向沿连线背离正场源电荷或指向负场源电荷。③掌握电场的叠加原理。

2.(2019 天津理综,3,6 分)如图所示,在水平向右的匀强电场中,质量为 m 的带电小球,以初速度 v 从 M 点竖直向上运动,通过 N 点时,速度大小为 $2v$,方向与电场方向相反,则小球从 M 运动到 N 的过程　(　　)



A.动能增加 $\frac{1}{2}mv^2$　　B.机械能增加 $2mv^2$

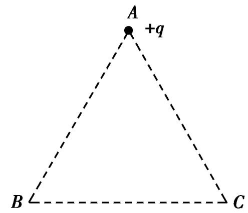
C.重力势能增加 $\frac{3}{2}mv^2$　　D.电势能增加 $2mv^2$

答案　**B**　本题为带电小球在匀强电场中的运动问题,考查了应用电场知识进行分析推理的能力,体现了运动和相互作用观念、能量观念等核心素养。

小球从 M 点运动到 N 点的过程,可分解为水平方向上的匀加速直线运动和竖直方向上的匀减速直线运动。竖直方向上,运动时间 $t=\frac{v}{g}$,上升高度 $h=\frac{v^2}{2g}$;水平方向上,$2v=at$,$a=\frac{F_电}{m}$,所以 $F_电=2mg$,水平位移 $x=\bar{v}t=\frac{2v}{2}\cdot t=\frac{v^2}{g}$。从 M 到 N,动能增量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}m\times(2v)^2-\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{2}mv^2$,A 错;重力势能增量 $\Delta E_p=mgh=\frac{1}{2}mv^2$,C 错;电势能增量 $\Delta E_{p电}=-W_电=-F_电\cdot x=-2mv^2$,故 D 错;机械能增量 $\Delta E_机=\Delta E_k+\Delta E_p=2mv^2$,B 正确。

一题多析　动能的增加量等于合外力做的功,即 $\Delta E_k=W_合=W_电+W_重=F_电\cdot x+(-mg\cdot h)$;机械能的增加量等于除重力以外的力做的功,即电场力做的功,$\Delta E_机=W_电$;重力势能的增加量等于克服重力做的功,$\Delta E_p=W_{克重}=mgh$;从 $M\to N$,电场力做正功,故带电小球的电势能减少。

3.(2019 江苏单科,9,4 分)(多选)如图所示,ABC 为等边三角形,电荷量为 $+q$ 的点电荷固定在 A 点。先将一电荷量也为 $+q$ 的点电荷 Q_1 从无穷远处(电势为 0)移到 C 点,此过程中,电场力做功为 $-W$。再将 Q_1 从 C 点沿 CB 移到 B 点并固定。最后将一电荷量为 $-2q$ 的点电荷 Q_2 从无穷远处移到 C 点。下列说法正确的有　(　　)



A.Q_1 移入之前,C 点的电势为 $\frac{W}{q}$

B.Q_1 从 C 点移到 B 点的过程中,所受电场力做的功为 0

C.Q_2 从无穷远处移到 C 点的过程中,所受电场力做的功为 $2W$

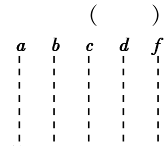
D.Q_2 在移到 C 点后的电势能为 $-4W$

答案　**ABD**　本题考查"电场能的性质"中的"电场力做功"问题,既要思考电场力做功的特点,还要考虑合力做功与分力做功的关系,难度较大,能充分考查学生的综合分析能力。

将 Q_1 从无穷远处移到 C 点,$W=q(\varphi_C-0)$,则 $\varphi_C=\frac{W}{q}$,A 正确。在 A 点的电荷量为 $+q$ 的点电荷产生的电场中,B 点与 C 点是等势点,Q_1 从 C 移到 B 的过程中,电场力做功为零,故 B 正确。在 A 点的点电荷形成的电场中,Q_1 从无穷远处移到 C 的过程中电场力做功为 $-W$,那么在 A 点的点电荷形成的电场中,将 Q_2 从无穷远处移到 C 点,电场力做功为 $2W$,同理在 B 点的点电荷形成的电场中,将 Q_2 从无穷远处移到 C 点,电场力做功也为 $2W$,所以将 Q_2 从无穷远处移到 C 点,电场力做的功为 $2W+2W=4W$,电势能减小 $4W$,无穷远处电势为零,则 Q_2 移到 C 点后的电势能为 $-4W$,所以 C 错误,D 正确。

解题关键　求 Q_2 移到 C 点过程中电场力做的功,可以分解为求在单独 A 点的点电荷产生的电场中移动电荷时电场力做的功与在单独 Q_1 产生的电场中移动电荷时电场力做的功之和,且由分析可知这两种情况下电场力做功相等。

4.(2018 课标Ⅰ,21,6 分)(多选)图中虚线 a、b、c、d、f 代表匀强电场内间距相等的一组等势面,已知平面 b 上的电势为 2 V。一电子经过 a 时的动能为 10 eV,从 a 到 d 的过程中克服电场力所做的功为 6 eV。下列说法正确的是　(　　)



A.平面 c 上的电势为零

B.该电子可能到达不了平面 f

C.该电子经过平面 d 时,其电势能为 4 eV

D.该电子经过平面 b 时的速率是经过 d 时的 2 倍

答案　**AB**　本题考查带电粒子在匀强电场中的运动,能量的转化与守恒等知识。电子从 a 到 d 的过程中克服电场力做功 6 eV,说明电场方向由 $a\to f$,且 $U_{ad}=3U_{ab}=3U_{bc}=3U_{cd}=3U_{df}=6$ V,故 $U_{ab}=U_{bc}=U_{cd}=U_{df}=2$ V,又因为 $\varphi_b=2$ V,故 $\varphi_a=4$ V,$\varphi_c=0$ V,$\varphi_d=-2$ V,$\varphi_f=-4$ V,可知 A 项正确。$E_{ka}=10$ eV,从 a 到 f 过程中,需克服电场力做功 8 eV,$E_{ka}>|W_电|$,因为不知道电子的运动方向,故不能确定电子能否到达平面 f,

故 B 项正确。电子经过平面 d 时,其电势能为 2 eV,故 C 项错误。经过平面 b 时的动能为 8 eV,经过平面 d 时的动能为 4 eV,又知 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$,故$\frac{v_b}{v_d}=\sqrt{\frac{E_{kb}}{E_{kd}}}=\frac{\sqrt{2}}{1}$,D 项错误。

易错点拨 隐含条件的显性化

动能是标量,而速度是矢量,故本题中不知道初速度的具体方向。

5.(2016 课标Ⅰ,14,6 分)一平行板电容器两极板之间充满云母介质,接在恒压直流电源上。若将云母介质移出,则电容器 ( )

A.极板上的电荷量变大,极板间电场强度变大

B.极板上的电荷量变小,极板间电场强度变大

C.极板上的电荷量变大,极板间电场强度不变

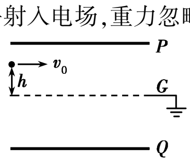
D.极板上的电荷量变小,极板间电场强度不变

答案 D 电容器电容 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$,云母介质移出,$\varepsilon_r$ 减小,C 减小;又 $C=\frac{Q}{U}$,电源恒压,U 一定,C 减小,故 Q 减小;电场强度 $E=\frac{U}{d}$,故 E 不变,选项 D 正确。

审题指导 关键词:恒压直流电源、介质移出。

评析 此题考查电容器电容、电荷量及电场强度之间的关系,难度为易,学生根据相关公式即可分析解答。

6.(2019 课标Ⅱ,24,12 分)如图,两金属板 P、Q 水平放置,间距为 d。两金属板正中间有一水平放置的金属网 G,P、Q、G 的尺寸相同。G 接地,P、Q 的电势均为 $\varphi(\varphi>0)$。质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子自 G 的左端上方距离 G 为 h 的位置,以速度 v_0 平行于纸面水平射入电场,重力忽略不计。



(1)求粒子第一次穿过 G 时的动能,以及它从射入电场至此时在水平方向上的位移大小;

(2)若粒子恰好从 G 的下方距离 G 也为 h 的位置离开电场,则金属板的长度最短应为多少?

答案 (1)$\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{2\varphi}{d}qh$ $v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}}$ (2)$2v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}}$

解析 本题考查了带电粒子在电场中的运动及学生的综合分析能力,体现了模型建构的素养要素。

(1)由题意得,P、G 间与 Q、G 间场强大小相等,均为 E。粒子在 P、G 间所受电场力 F 的方向竖直向下,设粒子的加速度大小为 a,有

$$E=\frac{2\varphi}{d} \quad ①$$

$$F=qE=ma \quad ②$$

设粒子第一次到达 G 时动能为 E_k,由动能定理有

$$qEh=E_k-\frac{1}{2}mv_0^2 \quad ③$$

设粒子第一次到达 G 时所用的时间为 t,粒子在水平方向的位移大小为 l,则有

$$h=\frac{1}{2}at^2 \quad ④$$

$$l=v_0t \quad ⑤$$

联立①②③④⑤式解得

$$E_k=\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{2\varphi}{d}qh \quad ⑥$$

$$l=v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}} \quad ⑦$$

(2)若粒子穿过 G 一次就从电场的右侧飞出,则金属板的长度最短。由对称性知,此时金属板的长度 L 为

$$L=2l=2v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}} \quad ⑧$$

知识储备 1.类平抛运动的处理方法;2.牛顿第二定律;3.动能定理;4.电势差与场强的关系。

7.(2019 课标Ⅲ,24,12 分)空间存在一方向竖直向下的匀强电场,O、P 是电场中的两点,从 O 点沿水平方向以不同速度先后发射两个质量均为 m 的小球 A、B。A 不带电,B 的电荷量为 q $(q>0)$。A 从 O 点发射时的速度大小为 v_0,到达 P 点所用时间为 t;B 从 O 点到达 P 点所用时间为$\frac{t}{2}$。重力加速度为 g,求

(1)电场强度的大小;

(2)B 运动到 P 点时的动能。

答案 (1)$\frac{3mg}{q}$ (2)$2m(v_0^2+g^2t^2)$

解析 本题考查电场强度和电场力,以及考生应用牛顿第二定律和动能定理解决带电粒子在电场中运动的问题,考查考生的综合分析能力。题目情景常见,运动过程简单,为中等难度题。体现了模型建构、科学推理的素养要求。

(1)设电场强度的大小为 E,小球 B 运动的加速度为 a。根据牛顿第二定律、运动学公式和题给条件,有

$$mg+qE=ma \quad ①$$

$$\frac{1}{2}a\left(\frac{t}{2}\right)^2=\frac{1}{2}gt^2 \quad ②$$

解得 $E=\frac{3mg}{q}$ ③

(2)设 B 从 O 点发射时的速度为 v_1,到达 P 点时的动能为 E_k,O、P 两点的高度差为 h,根据动能定理有

$$E_k-\frac{1}{2}mv_1^2=mgh+qEh \quad ④$$

且有 $v_1\frac{t}{2}=v_0t$ ⑤

$$h=\frac{1}{2}gt^2 \quad ⑥$$

联立③④⑤⑥式得

$$E_k=2m(v_0^2+g^2t^2) \quad ⑦$$

方法指导 优选最佳解题方案,可事半功倍。一般涉及时间的运动问题,采用牛顿第二定律结合运动学公式解题;不涉及时间时,采用动能定理或功能关系解题。

8.(2019 北京理综,23,18 分)电容器作为储能器件,在生产生活中有广泛的应用。对给定电容值为 C 的电容器充电,无论采用何种充电方式,其两极间的电势差 u 随电荷量 q 的变化图像都相同。

(1)请在图 1 中画出上述 $u-q$ 图像。类比直线运动中由 $v-t$ 图像求位移的方法,求两极间电压为 U 时电容器所储存的电能 E_p。

(2)在如图 2 所示的充电电路中,R 表示电阻,E 表示电源(忽略内阻)。通过改变电路中元件的参数对同一电容器进行两次充电,对应的 $q-t$ 曲线如图 3 中①②所示。

a.①②两条曲线不同是________(选填 E 或 R)的改变造成的;

b.电容器有时需要快速充电,有时需要均匀充电。依据 a 中的结论,说明实现这两种充电方式的途径。



图 1

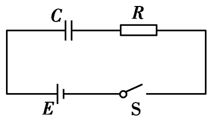


图 2

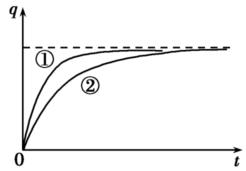
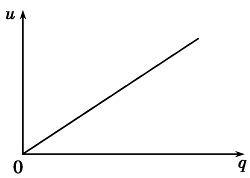


图 3

(3)设想使用理想的“恒流源”替换(2)中电源对电容器充电,可实现电容器电荷量随时间均匀增加。请思考使用“恒流源”和(2)中电源对电容器的充电过程,填写下表(选填“增大”、“减小”或“不变”)。

	“恒流源”	(2)中电源
电源两端电压		
通过电源的电流		

答案　(1)$u-q$ 图线如图　$\frac{1}{2}CU^2$



(2)a.R

b.减小电阻 R,可以实现对电容器更快速充电;增大电阻 R,可以实现更均匀充电。

(3)

	“恒流源”	(2)中电源
电源两端电压	增大	不变
通过电源的电流	不变	减小

解析　本题考查了电容器的充、放电及电能等知识,考查学生的实验能力、理解能力等,体现了科学探究中证据、解释的核心素养。

(1)由于 $q=Cu$,C 是与电压 u、电荷量 q 无关的常量,故 $u-q$ 图线为过原点的直线。

电压为 U 时,电容器带电荷量为 Q,图线和横轴围成的面积为所储存的电能 E_p

$E_p=\frac{1}{2}QU$,又 $Q=CU$

故 $E_p=\frac{1}{2}CU^2$

(2)a.电容器充电完毕后两极板间电压等于电源电动势,由图 3 可知电容器充电完毕时所带电荷量相同,由 $q=Cu$ 可知电源电动势相同,故曲线不同是由 R 不同造成的。

b.对同一电容器,在确定电源下充电时,电容器最终所带电荷量是一定的,因同样电压下电阻越小时电流越大,充电就越快;电阻越大时电流越小,同样长的时间内电容器所带电荷量的变化越小,电流变化越慢,充电过程越平缓。

(3)对于“恒流源”,电路中电流不变,电源两端电压 $U=U_C+IR$ 随电容器两端电压增大而增大;对于(2)中电源,由于内阻不计,故其两端电压等于电动势而保持恒定,通过电源的电流满足 $E=U_C+IR$,即 $I=\frac{E-U_C}{R}$,可见电流会随着电容器两端电压的增大而减小。

方法诠释　本题利用类比法及图像中轴、点、线、斜率、面积、截距的物理意义,分析相关电容器的特点和决定充放电的因素等。

C 组　教师专用题组

1.(2014 课标Ⅱ,19,6 分)(多选)关于静电场的电场强度和电势,下列说法正确的是　(　　)

A.电场强度的方向处处与等电势面垂直

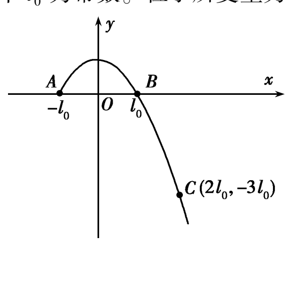
B.电场强度为零的地方,电势也为零

C.随着电场强度的大小逐渐减小,电势也逐渐降低

D.任一点的电场强度总是指向该点电势降落最快的方向

答案　**AD**　电场中场强为零的位置是绝对的,而电势为零的位置是人为选取的;再者场强的大小表征着电势随空间的变化率,而与电势的大小无关,故 B 错误。由沿电场线方向电势降低,可知电势的升降取决于场强的方向而与场强的大小无关,故 C 错误。

2.(2015 安徽理综,23,16 分)在 xOy 平面内,有沿 y 轴负方向的匀强电场,场强大小为 E(图中未画出),由 A 点斜射出一质量为 m、带电荷量为 $+q$ 的粒子,B 和 C 是粒子运动轨迹上的两点,如图所示,其中 l_0 为常数。粒子所受重力忽略不计。求:



(1)粒子从 A 到 C 过程中电场力对它做的功;

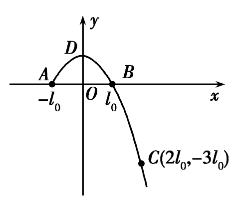
(2)粒子从 A 到 C 过程所经历的时间;

(3)粒子经过 C 点时的速率。

答案　(1)$3qEl_0$　(2)$3\sqrt{\frac{2ml_0}{qE}}$　(3)$\sqrt{\frac{17qEl_0}{2m}}$

解析　(1)$W_{AC}=qE(y_A-y_C)=3qEl_0$

(2)根据抛体运动的特点,粒子沿 x 轴正方向做匀速直线运动,由对称性可知轨迹最高点 D 在 y 轴上,可令 $t_{AD}=t_{DB}=T$,则 $t_{BC}=T$



由 $qE=ma$,得 $a=\frac{qE}{m}$

又 $y_D=\frac{1}{2}aT^2$,$y_D+3l_0=\frac{1}{2}a(2T)^2$

解得 $T=\sqrt{\frac{2ml_0}{qE}}$

则 $A\to C$ 过程所经历的时间 $t=3\sqrt{\frac{2ml_0}{qE}}$

(3)粒子在 DC 段做类平抛运动,于是有

$2l_0=v_{Cx}(2T)$,$v_{Cy}=a(2T)$

$v_C=\sqrt{v_{Cx}^2+v_{Cy}^2}=\sqrt{\frac{17qEl_0}{2m}}$

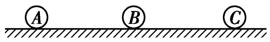
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 245

时间:40分钟 分值:75分

一、选择题(每小题6分,共48分)

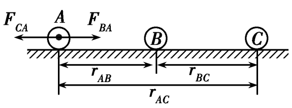
1.(2018内蒙古包头质量检测,3)如图所示,在光滑、绝缘的水平面上,沿一直线依次排列3个带电小球 A、B、C(可视为点电荷)。若它们恰能处于平衡状态,那么这3个小球所带的电荷量及电性的关系,可能的情况是 ( )



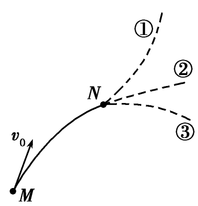
A.$-9:4:-36$ B.$4:9:36$

C.$-3:2:8$ D.$3:-2:6$

答案 **A** 要使每个小球都处于平衡状态,必须使其他两个小球对它的库仑力大小相等、方向相反,以小球 A 为研究对象,有 $F_{BA}=F_{CA}$,如图所示,故 B、C 带异种电荷,由库仑定律得 $k\frac{Q_AQ_B}{r_{AB}^2}=k\frac{Q_AQ_C}{r_{AC}^2}$,以小球 C 为研究对象,同理,知 A、B 带异种电荷,$k\frac{Q_AQ_C}{r_{AC}^2}=k\frac{Q_BQ_C}{r_{BC}^2}$,联立得 $k\frac{Q_AQ_C}{r_{AC}^2}=k\frac{Q_AQ_B}{r_{AB}^2}=k\frac{Q_BQ_C}{r_{BC}^2}$,又考虑到 $r_{AC}=r_{AB}+r_{BC}$,解得 $\sqrt{Q_AQ_C}=\sqrt{Q_AQ_B}+\sqrt{Q_BQ_C}$,此式为三球平衡时所带电荷量的大小关系。可知A正确。



2.(2018山西五市联考)(多选)如图所示,带电粒子在匀强电场中以初速度 v_0 沿曲线从 M 运动到 N(不计粒子的重力),这时突然使电场方向反向而大小不变。在新的电场中,带电粒子以后的运动情况(图中三条虚线在 N 点都与 MN 相切),下列说法正确的是 ( )



A.可能沿曲线①运动且电势能减小

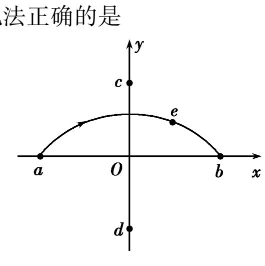
B.可能沿曲线①运动且电势能增大

C.可能沿直线②运动且电势能不变

D.可能沿曲线③运动且电势能增大

答案 **AB** 粒子在由 M 到 N 的过程中,所受到的电场力指向轨迹弯曲的内侧,则电场反向后,其所受电场力也反向,可知电场反向后其可能沿曲线①运动,选项C、D错误。在由 M 到 N 过程中电场力与 v 的夹角可能为锐角,还可能为钝角,不确定,同样电场反向后两者的夹角也不确定,则电场力可能做负功,还可能做正功,电势能可能增加,还可能减少,则选项A、B正确。

3.(2019安徽淮北宿州一模,9)(多选)如图所示,a、b 两点在 x 轴上关于 O 点对称,c、d 两点在 y 轴上关于 O 点对称,一对等量异种点电荷固定在 c、d 两点。一带正电的检验电荷仅在电场力的作用下从 a 点沿曲线运动到 b 点,e 为第一象限内轨迹上的一点,以下说法正确的是 ( )



A.c 处点电荷带负电

B.a 点电势低于 e 点电势

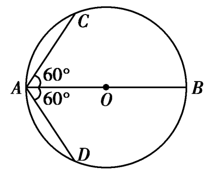
C.e 点的电场强度方向沿轨迹在该点的切线方向

D.检验电荷从 a 运动到 b 过程中,电势能先增加后减小

答案 **BD** 带正电的检验电荷仅在电场力的作用下从 a 点沿曲线运动到 b 点,合力指向曲线的内侧,故 c 处点电荷带正电,故A错误;从 e 点到 b 点电场力做正功,电势能减小,由于检验电荷带正电荷,故从 e 到 b 电势要降低,即 b 点的电势低于 e 点的电势,又因为等量异号电荷的连线的中垂线是等势面,故 a、b 两点电势相等,所以 a 点电势低于 e 点电势,故B正确;e 点的切线方向为速度方向,e 点的场强方向应与电场力方向在同一直线上,而曲线运动的受力与速度方向不可能在同一直线上,即 e 点场强方向不可能是该点的切线方向,故C错误;检验电荷从 a 到 b 过程中,电场力先做负功后做正功,故电势能先增加后减小,故D正确。故选B、D。

解题思路 根据轨迹的弯曲方向得到电场力的方向,再判断 c、d 点两个电荷的电性,最后根据电场力做的功等于电势能的减小量进行分析。

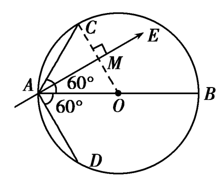
4.(2018安徽A10联盟联考)如图所示,水平面内有一个匀强电场,在该平面内有一个以 O 为圆心、R 为半径的圆,其中 AB 为圆的直径,C、D 为圆上两点,且 $\angle CAB=\angle DAB=60°$。一个带电量为 $+q$ 的粒子,以初速度 v 从 A 点三次沿不同的方向射出,分别运动到 B、C、D 三点,粒子到达 C 点的速度为 $\sqrt{2}v$,到达 B 点的速度为 $\sqrt{3}v$。不计粒子重力,若粒子到达 D 点的速度大小为 v_D,匀强电场的场强大小为 E,则 ( )



A.$v_D=v;E=\frac{\sqrt{3}mv^2}{3qR}$ B.$v_D=v;E=\frac{mv^2}{2qR}$

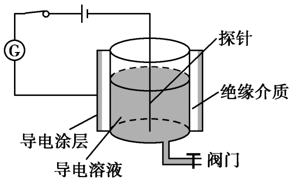
C.$v_D=\sqrt{2}v;E=\frac{\sqrt{3}mv^2}{3qR}$ D.$v_D=\sqrt{2}v;E=\frac{mv^2}{2qR}$

答案 **A** 由动能定理得 $qU_{AC}=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_A^2=\frac{1}{2}mv^2$,$U_{AC}=\frac{mv^2}{2q}$,$qU_{AB}=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2=mv^2$,$U_{AB}=\frac{mv^2}{q}=2U_{AC}$,因 O 为 AB 中点,则 $U_{AO}=\frac{1}{2}U_{AB}=U_{AC}$,故 $\varphi_O=\varphi_C$,则可知电场方向如图所示,故 $W_{AC}=\frac{1}{2}mv^2=qER\cos 30°$,得 $E=\frac{\sqrt{3}mv^2}{3qR}$,由几何关系可知 A、D 两点电势相等,再由动能定理分析可知 $v_D=v$,A正确。



5.(2018江西上饶六校一联)(多选)一位同学用底面半径为 r 的圆桶形塑料瓶制作了一种电容式传感器,用来测定瓶内溶液深度的变化,如图所示,瓶的外壁涂有一层导电涂层和瓶内导电溶液构成电容器的两极,它们通过探针和导线与电源、电流

计、开关相连，中间的一层塑料为绝缘介质，其厚度为 d，相对介电常数为 ε_r。若发现在某段时间 t 内有大小为 I 的电流从下向上流过电流计，设电源提供电压恒定为 U，则下列说法中正确的是　（　　）



A.瓶内液面升高了

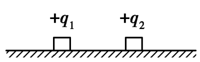
B.瓶内液面降低了

C.电容器在这段时间内放电

D.瓶内液面高度在 t 时间内变化了$\dfrac{2kdIt}{U\varepsilon_r r}$

答案　**BCD**　根据 $C=\dfrac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，当 d、ε_r 不变时，$C\propto S$，而正对面积 S 正比于液面高度 h。电流计中有从下向上流过的电流，说明电容器在放电，电容器带电荷量 $Q=CU$ 在减小，在电压 U 恒定时，说明电容 C 在减小，则 h 也在减小，瓶内的液面降低了，故 A 错误，B、C 项正确。t 时间内放电，释放的电荷量 $\Delta Q=U\Delta C=It$，$\Delta C=\dfrac{\varepsilon_r\Delta S}{4\pi kd}=\dfrac{\varepsilon_r\cdot 2\pi r\Delta h}{4\pi kd}$，解得 $\Delta h=\dfrac{2kdIt}{U\varepsilon_r r}$，故 D 项正确。

6.（**2020 届江西九江联考，6**）如图所示，在一个粗糙水平面上，彼此靠近地放置两个带同种电荷的小物块。由静止释放后，两个物块向相反方向运动，并最终停止。在物块的运动过程中，下列表述正确的是　（　　）



A.两个物块的电势能逐渐减少

B.物块受到的库仑力不做功

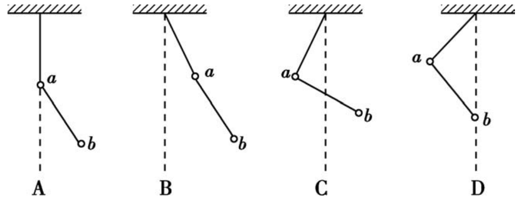
C.两个物块的机械能守恒

D.物块受到的摩擦力始终小于其受到的库仑力

答案　**A**　本题考查了功能关系在电荷间相互作用中的应用，体现了物理观念中的运动和相互作用、能量要素。

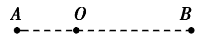
物块运动过程中，它们之间的距离 r 增大，摩擦力大小不变，库仑力大小逐渐减小。库仑力大于摩擦力时做加速运动，当库仑力等于摩擦力时，两个小物块由于惯性的作用将继续运动，它们之间的距离将继续增大，库仑力继续减小，库仑力小于摩擦力后，开始做减速运动直到停止。物块运动方向与库仑力方向相同，库仑力做正功，电势能减少。由于摩擦力和库仑力做功，并且二者大小不相等，故运动过程中机械能不守恒。故 A 项正确。

7.（**2018 广东四校联考，3**）用等长的轻质细线把两个质量相等的带电小球 a、b 悬挂起来，a 球带电荷量为$-3q$、b 球带电荷量为$+q$，整个装置处在水平向右的匀强电场中，最后达到平衡时的状态可能是　（　　）



答案　**D**　对 a、b 整体受力分析，整体受到竖直向下的重力 $2mg$ 和水平向左的电场力 $2qE$，可知上面细线的拉力方向为斜向右上方，设上面细线与竖直方向的夹角为 α，则 $\tan\alpha=\dfrac{2qE}{2mg}=\dfrac{qE}{mg}$；同理，对 b 受力分析，下面细线的拉力方向为斜向左上方，设下面细线与竖直方向的夹角为 β，则 $\tan\beta=\dfrac{qE}{mg}$，所以 $\alpha=\beta$，b 球位于虚线上。故 D 正确。

8.（**2019 5·3 原创**）根据库仑定律和万有引力定律可知，点电荷间的库仑力和质点间的万有引力都与距离的二次方成反比，即都遵循平方反比规律，两者之间具有很大的相似性。那么试想有如图所示的物理情境，点电荷 A、B 带异种电荷，两者仅在彼此间的库仑力作用下绕连线上的某点 O 做匀速圆周运动，这个情形很像双星模型，我们可以称之为“双电荷模型”。那么关于“双电荷模型”，下列说法中正确的是　（　　）



A.运动半径与质量成反比

B.运动半径与电荷量成正比

C.角速度与质量成反比

D.线速度与电荷量成正比

答案　**A**　由于两点电荷要绕着 O 点做匀速圆周运动，两点电荷间引力沿着二者连线，引力提供向心力，可知二者连线始终过 O 点，两点电荷始终在相同时间内转过相同的角度，因此两点电荷的角速度、周期均相等，故选项 C 错误；两点电荷彼此间的库仑力提供各自做圆周运动的向心力，且二者的角速度相等，满足$\dfrac{kq_Aq_B}{l^2}=m_Ar_A\omega^2$ 和$\dfrac{kq_Aq_B}{l^2}=m_Br_B\omega^2$，解得 $m_Ar_A=m_Br_B$，即 $r_A/r_B=m_B/m_A$，运动半径与质量成反比，与电荷量无关，故选项 A 正确，B 错误；由于线速度 $v=\omega r$，二者角速度相等，因此线速度与半径成正比，即线速度和质量成反比，与电荷量无关，故选项 D 错误。

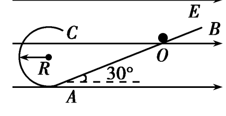
考点说明　利用电场中的“双电荷模型”，考查受力分析、匀速圆周运动、向心力公式、牛顿第二定律、库仑定律等相关知识。

命题意图　此题适合高考理综物理部分的单选题，是一道力电综合问题，考查了力学和电学相关的多方面的知识，属于中等难度的选择题。

创新点　将万有引力中的双星问题运用到电场中，考查学生的知识迁移能力。

二、非选择题（共 27 分）

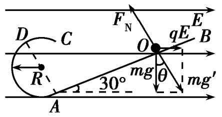
9.（12 分）（**2018 陕西商洛阶段检测，14**）如图所示，绝缘光滑轨道 AB 部分是倾角为 30°的斜面，AC 部分为竖直平面上半径为 R 的圆轨道，斜面与圆轨道相切。整个装置处于场强为 E、方向水平向右的匀强电场中。现有一个质量为 m 的带正电小球，电荷量为 $q=\dfrac{\sqrt{3}mg}{3E}$，要使小球能安全通过圆轨道，在 O 点的初速度应满足什么条件？



答案　$v\geqslant\sqrt{\dfrac{10\sqrt{3}gR}{3}}$

解析　小球先在斜面上运动，受重力、电场力、支持力，然后在圆轨道上运动，受重力、电场力、轨道作用力，如图所示，类比重力场，将电场力与重力的合力视为等效重力 mg'，大小为 $mg'=\sqrt{(qE)^2+(mg)^2}=\dfrac{2\sqrt{3}mg}{3}$，$\tan\theta=\dfrac{qE}{mg}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，得 $\theta=30°$，等

效重力的方向与斜面垂直指向右下方,小球在斜面上匀速运动。



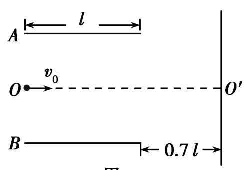
因要使小球能安全通过圆轨道,在圆轨道的"等效最高点"(D点)满足"等效重力"刚好提供向心力,即有:$mg'=\dfrac{mv_D^2}{R}$,

因$\theta=30°$与斜面的倾角相等,由几何关系知$AD=2R$,令小球以最小初速度v_0运动,由动能定理知:

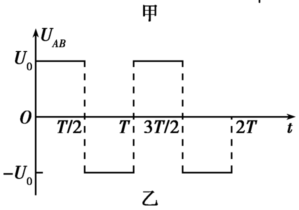
$$-2mg'R=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$

解得$v_0=\sqrt{\dfrac{10\sqrt{3}gR}{3}}$,因此要使小球安全通过圆轨道,初速度应满足$v\geqslant\sqrt{\dfrac{10\sqrt{3}gR}{3}}$。

10.(15分)**(2018湖北宜昌调研)**如图甲所示,两水平金属板A、B间的距离为d,极板长为l,A、B右端有一竖直放置的荧光屏,荧光屏距A、B右端的距离为$0.7l$。A、B两板间加上如图乙所示的方波形电压,电压的正向值为U_0,反向值也为U_0,A、B间的电场可看做匀强电场,且两板外无电场。现有质量为m、电荷量为e(重力不计)的电子束,以速度v_0沿A、B两板间的中心线OO'射入两板间的偏转电场,所有电子均能通过偏转电场,最后打在荧光屏上。



甲



乙

(1)求电子通过偏转电场的时间t_0;

(2)若U_{AB}的周期$T=t_0$,求从OO'上方飞出偏转电场的电子在飞出时离OO'的最大距离;

(3)若U_{AB}的周期$T=2t_0$,求电子击中荧光屏上O'点时的速率。

答案 (1)$\dfrac{l}{v_0}$ (2)$\dfrac{eU_0l^2}{4mdv_0^2}$ (3)$\sqrt{v_0^2+\left(\dfrac{eU_0l}{5mdv_0}\right)^2}$

解析 (1)电子在水平方向做匀速运动有:$v_0t_0=l$

解得$t_0=\dfrac{l}{v_0}$

(2)当$T=t_0$时,$t=0$时刻进入偏转电场的电子向上侧移距离最大

设最大距离为y_m,加速度大小为a,则有:

$$y_m=2\times\frac{1}{2}a\left(\frac{t_0}{2}\right)^2$$

$$a=\frac{eU_0}{md}$$

解得最大距离$y_m=\dfrac{eU_0l^2}{4mdv_0^2}$

(3)当$T=2t_0$时,电子要到达O'点在电场中必须在竖直方向上先加速后减速再反向加速,并且加速度大小相等,离开电场后竖直方向上匀速,从O到O'的整个过程向上的位移和向下的位移大小相等。设向上加速时间为Δt,则在竖直方向上有:

$$y_上=2\times\frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

$$y_下=\frac{1}{2}a(t_0-2\Delta t)^2+a(t_0-2\Delta t)\left(\frac{0.7l}{v_0}\right)$$

要到达O'点,则有$y_上=y_下$

解得:$\Delta t=0.4t_0$,另一解:$\Delta t=3t_0$舍去

所以到达O'点的电子在竖直方向上的速度大小为$v_y=a(t_0-2\Delta t)$

到达荧光屏上O'点的电子的速率为$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$

解得电子击中荧光屏上O'点时的速率:$v=\sqrt{v_0^2+\left(\dfrac{eU_0l}{5mdv_0}\right)^2}$

5年高考3年模拟

专题九　恒定电流

探考情 悟真题

5 年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 100

考点	考向	5 年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
电路的基本概念和规律	基本概念和规律	2019 浙江 4 月选考,8,3 分	2		科学推理		★★☆
		2016 课标Ⅱ,17,6 分	3	电容器	科学推理	等效法	
		2015 安徽理综,17,6 分	4	电场强度	科学推理		
闭合电路欧姆定律	动态电路的分析	2016 上海单科,18,4 分	3		科学推理		★★★
	电路的分析计算	2019 江苏单科,3,3 分	3		科学推理		
		2018 北京理综,23,18 分	4	$U-I$ 图像	科学推理	图像法	

分析解读

本专题研究部分电路与闭合电路。研究各种电路所加电压、电流及消耗的功率所遵循的规律。复习中应理清各个基本概念,熟记各公式,明确各公式的适用条件。由于本专题知识与实际生活联系密切,必须要加强培养用物理知识解决实际问题的能力,同时深刻理解并熟练掌握各相关实验的基本原理,加强对基本仪器使用的复习以及对设计实验方法的迁移运用。本专题知识经常与后面的电磁感应、交变电流知识相结合。运用相关的电路知识、运动学规律、能量守恒等来解决一些综合题是高考中又一重点和难点。

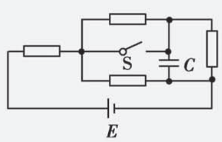
真题探秘

对应学生用书起始页码 100

给定第一个条件:可设四个电阻值均为R

创设试题情景:含容电路,含容支路无电流

(2016课标Ⅱ,17,6分)阻值相等的四个电阻、电容器C及电池E(内阻可忽略)连接成如图所示电路。开关S断开且电流稳定时,C所带的电荷量为Q_1;闭合开关S,电流再次稳定后,C所带的电荷量为Q_2。Q_1与Q_2的比值为　　(　　)



A. $\frac{2}{5}$　　B. $\frac{1}{2}$　　C. $\frac{3}{5}$　　D. $\frac{2}{3}$

给定第二个条件:路端电压等于电动势

暗示题目解答的最佳切入点为:两次电路连接情况不同,找出两次与电容器并联的电阻,根据并联电路的特点,确定出两次电容器两板间的电压,可以求得电容器所带电荷量之比

❶ 核心要点

闭合电路欧姆定律在含容电路中的应用，电容器的电荷量的计算和开关通断时等效电路的确定。

❷ 情景解读

根据开关通断等效出两次含容电路。

❸ 思路分析

开关断开电流稳定时，含电容器的支路为断路，开关闭合电流稳定时，含电容器的支路仍为断路，确定出电容器两板间的电压，再由$Q=CU$，求出Q_1、Q_2之比。

❹ 错误警示

开关通、断，四个等值电阻的连接方式发生变化，等效电路不同。

❺ 能力要求

在实际电路中画出等效电路的能力。
灵活应用含容电路的规律的能力。
在综合性题目中数学运算的能力。

❻ 答案

C 详细解析见187页5年高考A组第4题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 101

考点一 电路的基本概念和规律

考向基础

一、电流

1.电流

(1)定义:电荷的定向移动形成电流。

(2)公式:$I=\frac{q}{t}$。(注意:a.如果是正、负离子同时向相反方向定向移动形成电流,q是两种离子电荷量绝对值之和;b.电子绕原子核的运动产生的电流可等效为环形电流,电子绕核做圆周运动时,若周期为T,则其等效电流$I=\frac{e}{T}$)

(3)方向:规定和正电荷定向移动的方向相同,和负电荷定向移动的方向相反。

(4)性质:电流既有大小也有方向,但它的运算遵守代数运算规则,是标量。

(5)单位:国际单位制中是安培(A),常用单位还有毫安(mA)、微安(μA)。

2.形成电流的三种微粒:自由电子、正离子和负离子,其中金属导体导电时定向移动的电荷是自由电子,液体导电时定向移动的电荷是正、负离子,气体导电时定向移动的电荷是自由电子、正离子和负离子。

3.形成电流的条件:a.导体中存在自由电荷;b.导体两端存在电压。

温馨提示 电流的四种求解方法

(1)利用定义式$I=\frac{q}{t}$求解电流的大小,式中q是通过导体横截面的电荷量。

(2)利用欧姆定律$I=\frac{U}{R}$求解电流的大小。

(3)利用$I=nqvS$求解电流的大小,这是电流的微观表达式,v为电荷定向移动的速率,S为导体的横截面积,n为导体单位体积内的自由电荷数,q为每个自由电荷的电荷量。

(4)利用等效法求解电流的大小,如电子绕原子核的运动可等效为环形电流,电子绕原子核做圆周运动时,若周期为T,利用等效法可求解电流$I=\frac{e}{T}$。

二、电阻和电阻率

1.电阻反映了导体对电流的阻碍作用。

2.电阻的定义式:$R=\frac{U}{I}$。

3.电阻定律:同种材料的导体,其电阻与它的长度成正比,与横截面积成反比;导体电阻还与构成它的材料有关。表达式$R=\rho\frac{l}{S}$。

4.电阻率是反映导体导电性能的物理量,其特点是随着温度的改变而变化。金属的电阻率随温度升高而增大。

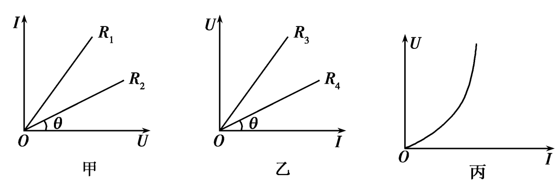
三、部分电路欧姆定律

1.内容:通过一段电路的电流,跟这段电路两端的电压成正比,跟这段电路的电阻成反比。

2.表达式:$I=\frac{U}{R}$。

3.定律的适用范围:金属导电和电解液导电。

4.$I-U$图线和$U-I$图线:a.在R一定的情况下,I正比于U,所以$I-U$图线和$U-I$图线都是通过原点的直线,如图甲、乙所示。$I-U$图线中,$R_1<R_2$;$U-I$图线中,$R_3>R_4$。此时,导体的电阻为$U-I$图线的斜率,$R=\frac{U}{I}=\frac{\Delta U}{\Delta I}$。b.在$R$变化的情况下,$I$与$U$不再成正比,$U-I$图线不再是直线,而是一条曲线,如小灯泡的$U-I$图线如图丙所示,此时电阻$R=\frac{U}{I}\neq\frac{\Delta U}{\Delta I}$,即电阻为图线上的点与坐标原点连线的斜率而不是切线的斜率。



四、电功和电功率

1.电功:电流做功的实质是电场力对电荷做功。电场力对电荷做功,电荷的电势能减少,电势能转化为其他形式的能。电功$W=qU=UIt$,这是计算电功普遍适用的公式。

2.电功率:单位时间内电流做的功叫电功率,$P=\frac{W}{t}=UI$,这是计算电功率普遍适用的公式。

五、电热和焦耳定律

1.电流通过电阻时产生的热量$Q=I^2Rt$,这是普遍适用的电热计算公式。

2.焦耳定律:电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比,跟导体的电阻及通电时间成正比。

3.电功和电热、电功率和热功率的比较

	电功	电热	电功率	热功率
意义	电流在一段电路中所做的功	电流通过电阻产生的热量	单位时间内电流所做的功	单位时间内电阻产生的热量
公式	$W=UIt$	$Q=I^2Rt$	$P_{电}=UI$	$P_{热}=I^2R$
联系	对纯电阻电路,电功等于电热:$W=Q=UIt=I^2Rt$ 对非纯电阻电路,电功大于电热:$W>Q$		对纯电阻电路,电功率等于热功率:$P_{电}=P_{热}=UI=I^2R$ 对非纯电阻电路,电功率大于热功率:$P_{电}>P_{热}$	

考向突破

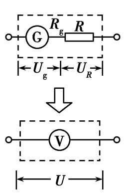
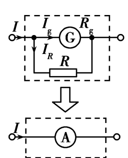
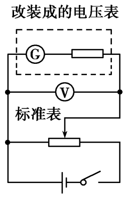
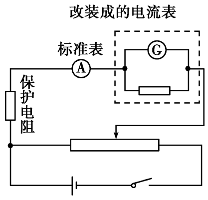
考向　基本概念和规律

一、电流的微观理解

三种速率的理解

电子定向移动速率	金属导体中的电流就是由自由电子的定向移动形成的,可以证明电流 $I=neSv$,其中 v 就是电子定向移动的速率,一般为 10^{-5} m/s 的数量级
电子热运动的速率	构成导体的电子在不停地做无规则热运动,由于热运动中电子向各个方向运动的机会相等,故不能形成电流,常温下电子热运动的速率数量级为 10^5 m/s
电流传导速率	电流传导速率等于光速,闭合开关的瞬间,电路中各处以真空中光速 c 建立电场,在电场的作用下,电路中各处的自由电子几乎同时开始定向移动,整个电路也几乎同时形成了电流

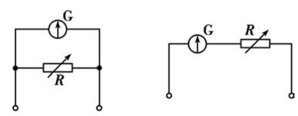
二、电表的改装

	改装成电压表	改装成电流表
内部电路		
改装原理	串联分压	并联分流
改装后的量程	$U=I_g(R+R_g)$	$I=\frac{R+R_g}{R}I_g$
量程扩大的倍数	$n=\frac{U}{U_g}$	$n=\frac{I}{I_g}$
接入电阻的阻值	$R=\frac{U}{I_g}-R_g$ $=(n-1)R_g$	$R=\frac{I_gR_g}{I-I_g}$ $=\frac{R_g}{n-1}$
改装后的总内阻	$R_V=R_g+R$ $=nR_g$	$R_A=\frac{R\cdot R_g}{R+R_g}$ $=\frac{R_g}{n}$
校对电路	改装成的电压表 	改装成的电流表 

续表

	改装成电压表	改装成电流表
备注	(1)改装后示数等于表头与分压电阻两端电压之和	(1)改装后示数等于通过表头与分流电阻的电流之和
	(2)改装后量程等于满偏时表头与分压电阻两端电压之和	(2)改装后量程等于满偏时通过表头与分流电阻的电流之和
	(3)同一表头改装成的多量程电压表,内阻之比等于量程之比	(3)同一表头改装成的多量程电流表,内阻之比等于量程的反比
	(4)改装后表头满偏电压不变	(4)改装后表头满偏电流不变
	(5)改装后指针偏角大小取决于通过表头的电流大小	

例 1　如图所示,甲、乙两个电路都是由一个灵敏电流计 G 和一个变阻器 R 组成的,下列说法正确的是　(　　)



甲　　乙

①甲表是电流表,R 增大时量程增大
②甲表是电流表,R 增大时量程减小
③乙表是电压表,R 增大时量程增大
④乙表是电压表,R 增大时量程减小

A.①③　　B.①④　　C.②③　　D.②④

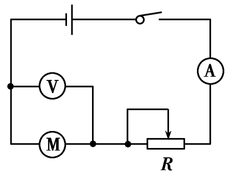
解析　电压表串联电阻分压,电流表并联电阻分流。所以甲表为电流表,乙表为电压表。并联电路中电阻大时分流少,所以 R 增大时量程减小;串联电路中电阻大时分压多,所以 R 增大时量程增大,故选 C。

答案　C

三、电动机的三个功率及关系

输入功率	电动机的总功率。由电动机电路中的电流和电压决定,即 $P_{总}=P_{入}=UI$
输出功率	电动机做有用功的功率,也叫机械功率
热功率	电动机的线圈有电阻,电流通过线圈时会发热,热功率 $P_{热}=I^2r$
三者关系	$P_{总}=P_{出}+P_{热}$
效率	$\eta=\frac{P_{出}}{P_{入}}\times100\%=\frac{P_{出}}{P_{总}}\times100\%$
说明	(1)①正常工作的电动机是非纯电阻元件可等效为一个转动元件 Z 和电阻 R 的串联 ②电动机因故障或其他原因不转动时,相当于一个纯电阻元件 (2)①在纯电阻电路中电功等于电热 $W=Q$,$IUt=I^2Rt$ ②在非纯电阻电路中电功大于电热 $W>Q$,$W=Q+E$

例 2　在研究微型电动机的性能时,可采用如图所示的实验电路。当调节滑动变阻器 R,使电动机停止转动时,电流表和电压表的示数分别为 0.5 A 和1.0 V;重新调节 R,使电动机恢复正常运转时,电流表和电压表的示数分别为 2.0 A 和15.0 V。则有关这台电动机正常运转时的说法正确的是　(　　)



A.电动机的内电阻为 2 Ω

B.电动机的内电阻为 7.5 Ω

C.电动机的输出功率为 30 W

D.电动机的输出功率为 22 W

解析 当调节滑动变阻器 R,使电动机不转动,此时将电动机视为纯电阻元件,电压表与电流表示数之比等于电动机的内电阻的阻值,则$R_{内}=\frac{1.0}{0.5}\ \Omega=2\ \Omega$,选项 A 正确,B 错误;当电动机正常工作时,电动机的输出功率为 $P_{出}=UI-I^2R_{内}=22\ W$,选项 C 错误,D 正确。

答案 AD

考点二 闭合电路欧姆定律

考向基础

一、电动势

1.物理意义:反映不同电源把其他形式的能转化为电能的本领大小的物理量。电动势大,说明电源把其他形式的能转化为电能的本领大;电动势小,说明电源把其他形式的能转化为电能的本领小。

2.大小:等于外电路断开时的路端电压,数值上也等于把1 C的正电荷从电源负极移到正极时非静电力所做的功。

3.电动势的方向:电动势虽是标量,但为了研究电路中电势分布的需要,我们规定由负极经电源内部指向正极的方向(即电势升高的方向)为电动势的方向。

二、闭合电路欧姆定律

1.内容:闭合电路中的电流跟电源电动势成正比,跟内、外电路电阻之和成反比,这个结论叫做闭合电路欧姆定律。

2.表达式:a.电流表达式 $I=\frac{E}{R+r}$;

b.电动势表达式 $E=IR+Ir=U+U_r$。

3.适用范围:外电路是纯电阻的电路。

三、路端电压 U

外电路两端的电压叫路端电压,即电源的输出电压,$U=E-Ir$。

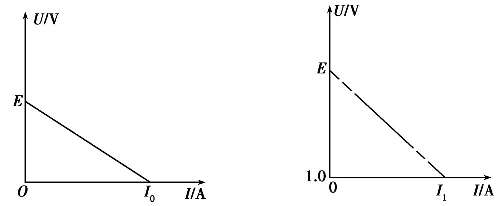
1.当外电阻 R 增大时,I 减小,内电压减小,路端电压增大。当外电路断开时,$I=0,U=E$。

2.当外电阻减小时,I 增大,内电压增大,路端电压减小。当电源两端短路时,外电阻 $R=0,I=\frac{E}{r},U=0$。

3.路端电压也可以表示为 $U=IR=\frac{ER}{R+r}=\frac{E}{1+\frac{r}{R}}$,也可以得到路端电压随外电阻增大而增大的结论。

四、闭合电路的 $U-I$ 图像

如图甲所示为闭合电路的 $U-I$ 图像,由 $U=E-Ir$ 知,图线为一条直线,纵轴截距为电源电动势,横轴截距为短路电流,图线的斜率的绝对值等于电源内阻。



甲 乙

由于一般电源的内阻 r 很小,故外电压 U 随电流 I 的变化不太明显,实际得到的图线往往很平,只占用坐标纸一小部分,为充分利用坐标纸,往往将横轴向上移,如图乙所示。此时应注意,I_1 并非短路电流,不可盲目用它求内阻,但纵轴截距仍代表电动势 E,图线斜率的绝对值仍等于内阻 r。

考向突破

考向一 动态电路的分析

1.程序法

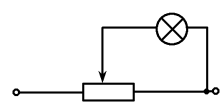
(1)确定电路的外电阻($R_{外总}$)如何变化。

说明 ①当外电路的任何一个电阻增大(或减小)时,外电路的总电阻一定增大(或减小)。

②若开关的通断使串联的用电器增多时,总电阻增大;若开关的通断使并联的支路增多时,总电阻减小。

③在如图所示的分压电路中,滑动变阻器可以视为由两段电阻构成,其中一段与用电器并联(以下简称并联段),另一段与并联部分串联(以下简称串联段)。设滑动变阻器的总电阻为 R,灯泡的电阻为 $R_{灯}$,与灯泡并联的那一段电阻为 $R_{并}$,则分压器的总电阻为

$$R_{总}=R-R_{并}+\frac{R_{并}R_{灯}}{R_{并}+R_{灯}}=R-\frac{R_{并}^2}{R_{并}+R_{灯}}=R-\frac{1}{\frac{1}{R_{并}}+\frac{R_{灯}}{R_{并}^2}}。$$



由上式可以看出,当 $R_{并}$ 减小时,$R_{总}$ 增大;当 $R_{并}$ 增大时,$R_{总}$ 减小。由此可以得出结论:分压器总电阻的变化情况,与并联段电阻的变化情况相反,与串联段电阻的变化情况相同。

(2)根据闭合电路欧姆定律 $I_{总}=\frac{E}{R_{外总}+r}$,确定电路的总电流如何变化。

(3)由 $U_{内}=I_{总}r$,确定电源的内电压如何变化。

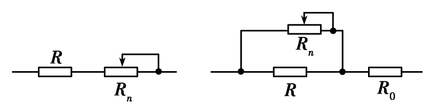
(4)由 $U_{外}=E-U_{内}$,确定电源的外电压(路端电压)如何变化。

(5)由部分电路欧姆定律,确定干路上某定值电阻两端的电压如何变化。

(6)确定支路两端的电压如何变化以及通过各支路的电流如何变化。

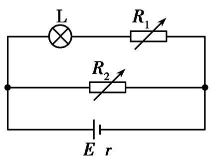
2.结论法

当局部电阻 R_n 变化时,与 R_n 串联的电阻 R 的功率 P、电流 I、电压 U 与 R_n 变化相反,简称串联反变或串反,如图(a)。而与 R_n 并联的 R 上,I_R、U_R、P_R 与 R_n 的变化相同,简称并联同变或并同,如图(b)。总称串反并同。



(a) (b)

例 1　在如图所示的电路中，E 为电源的电动势，r 为电源的内电阻，R_1、R_2 为可变电阻，在下列叙述的操作中，可以使灯泡 L 变暗的是　（　　）



A.仅使 R_1 的阻值增大　　B.仅使 R_1 的阻值减小

C.仅使 R_2 的阻值增大　　D.仅使 R_2 的阻值减小

解析　解法一：当仅使 R_1 电阻增大时，闭合电路总电阻增大，由闭合电路欧姆定律可知闭合电路总电流减小，路端电压增大，流经 R_2 的电流增大，故流经灯泡的电流减小，则灯泡的实际功率减小，灯泡变暗；反之，当仅使 R_1 电阻减小时，灯泡变亮，选项 A 正确、B 错误。当仅使 R_2 电阻增大时，闭合电路总电流减小，路端电压增大，灯泡两端电压增大，灯泡变亮；反之，当仅使 R_2 电阻减小时，灯泡变暗，故选项 C 错误、D 正确。

解法二：利用“串反并同”法，要使 L 变暗、电流变小，需要增大 R_1 或者减小 R_2，所以选项 A、D 正确。

答案　AD

考向二　电路的分析计算

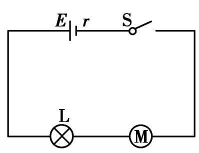
1.闭合电路中的功率

(1)电源的总功率：$P_{总}=IE=IU+IU_r=P_{出}+P_{内}$。

(2)电源内阻消耗的功率：$P_{内}=I^2r=P_{总}-P_{出}$。

(3)电源的输出功率：$P_{出}=IU=IE-I^2r=P_{总}-P_{内}$。

例 2　如图所示电路，电源电动势为 E，内阻为 r。当开关 S 闭合后，小型直流电动机 M 和指示灯 L 都恰能正常工作。已知指示灯 L 的电阻为 R_0，额定电流为 I，电动机 M 的线圈电阻为 R，则下列说法中正确的是　（　　）



A.电动机的额定电压为 IR

B.电动机的输出功率为 $IE-I^2R$

C.电源的输出功率为 $IE-I^2r$

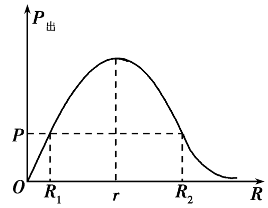
D.整个电路的热功率为 $I^2(R_0+R+r)$

解析　指示灯正常工作，通过它的电流为额定电流 I，指示灯与电动机串联，所以通过电动机的电流也等于 I。电动机为非纯电阻元件，电动机的额定电压 $U\neq IR$，根据闭合电路欧姆定律，可得电动机的额定电压 $U=E-I(R_0+r)$，选项 A 错。电动机的输出功率为总功率减去热功率 $P_{出}=UI-I^2R=EI-I^2(R_0+r)-I^2R$，选项 B 错。电源的输出功率 $P=EI-I^2r$，选项 C 对。整个电路的热功率 $P=I^2(R_0+R+r)$，选项 D 对。

答案　CD

2.纯电阻电路中电源的输出功率与效率随外电阻变化的规律

(1)电源的输出功率为 $P_{出}=I^2R=\dfrac{E^2}{(R+r)^2}R=\dfrac{E^2R}{(R-r)^2+4Rr}=\dfrac{E^2}{\dfrac{(R-r)^2}{R}+4r}$，当 $R=r$ 时，$P_{出}$ 有最大值，即 $P_{出m}=\dfrac{E^2}{4r}$。$P_{出}$ 与外电阻 R 的这种函数关系可用图像定性地表示。由图像还可知，对应于电源的非最大输出功率 P 可以有两个不同的外电阻 R_1 和 R_2，当 $R<r$ 时，若 R 增大，则 $P_{出}$ 增大；当 $R>r$ 时，若 R 增大，则 $P_{出}$ 减小。



说明　上面的结论都是在电源的内电阻 r 不变且外电路为纯电阻电路的情况下适用。在电源的内电阻不变时，电源的输出功率(即外电阻上消耗的功率)随外电阻的变化不是单调的，存在极值；当外电阻等于内电阻时，输出功率达到最大值。如果一个电路的外电阻固定不变，当电源的内电阻发生变化时，电源的输出功率随内电阻的变化是单调的，内电阻减小，输出功率增大，当内电阻最小时，输出功率最大。

(2)电源效率：指电源的输出功率与电源的功率之比，即 $\eta=\dfrac{P_{出}}{P}=\dfrac{IU}{IE}=\dfrac{U}{E}$。

对纯电阻电路：$\eta=\dfrac{I^2R}{I^2(R+r)}=\dfrac{R}{R+r}=\dfrac{1}{1+\dfrac{r}{R}}$，所以当 R 增大时，效率 η 提高，当 $R=r$ 时，电源有最大输出功率，但效率仅为 50%，并不高。

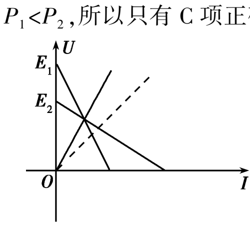
(3)用电器获得最大功率：处理这类问题通常采用等效电源法，解题时应根据需要选用不同的等效方式，将用电器获得最大功率的问题转化为电源最大输出功率的问题来解决。

例 3　已知两电源的电动势分别为 E_1、E_2($E_1>E_2$)，内阻分别为 r_1、r_2。当两电源分别与阻值为 R 的电阻连接时，外电路消耗的功率正好相等。若电阻 R 减小一些，再与 E_1、E_2 分别连接时，对应的外电路消耗的功率分别是 P_1、P_2。则　（　　）

A.$r_1<r_2$，$P_1<P_2$　　B.$r_1<r_2$，$P_1>P_2$

C.$r_1>r_2$，$P_1<P_2$　　D.$r_1>r_2$，$P_1>P_2$

解析　由外电路消耗的功率相等得 $\left(\dfrac{E_1}{R+r_1}\right)^2R=\left(\dfrac{E_2}{R+r_2}\right)^2R$，又知 $E_1>E_2$，则 $(R+r_1)^2>(R+r_2)^2$，故 $r_1>r_2$，再画出 $U-I$ 图像如图，可知 R 减小一些(图中虚线)，在对应 E_2 中电流大，由 $P=I^2R$ 可得 $P_1<P_2$，所以只有 C 项正确。



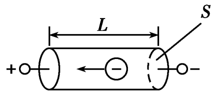
答案　C

考点集训

对应学生用书起始页码 105

考点一　电路的基本概念和规律

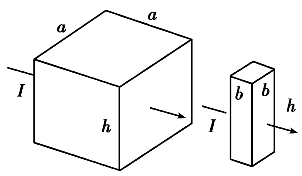
1.一根长为 L、横截面积为 S 的金属棒,其材料的电阻率为 ρ。棒内单位体积自由电子数为 n,电子的质量为 m,电荷量为 e。在棒两端加上恒定的电压 U 时,棒内产生电流,则自由电子定向移动的平均速率为　(　　)



A.$\dfrac{U}{ne\rho L}$　B.$\dfrac{US^2}{ne\rho L}$　C.$ne\rho L$　D.$\dfrac{ne\rho SL}{U}$

答案　A　电流的微观表达式 $I=neSv$,又 $I=\dfrac{U}{R}$,$R=\rho\dfrac{L}{S}$,得 $v=\dfrac{U}{ne\rho L}$,故选 A。

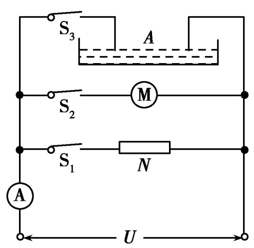
2.(2020届山西太原三校联考,6)有两个同种材料制成的导体,两导体是横截面为正方形的柱体,柱体高均为 h,大柱体上底面边长为 a,小柱体上底面边长为 b,则　(　　)



A.从图示电流方向看大柱体与小柱体的电阻之比为 $a:b$
B.若电流方向竖直向下,大柱体与小柱体的电阻之比为 $a:b$
C.从图示电流方向看大柱体与小柱体的电阻之比为 1∶1
D.若电流方向竖直向下,大柱体与小柱体的电阻之比为 $a^2:b^2$

答案　C　从图示电流方向看,根据电阻定律有 $R_1=\dfrac{\rho a}{ah}=\dfrac{\rho}{h}$,$R_2=\dfrac{\rho b}{bh}=\dfrac{\rho}{h}$,则两柱体电阻之比为 1∶1,故 A 错误,C 正确;若电流竖直向下,根据电阻定律有 $R_1=\dfrac{\rho h}{a^2}$,$R_2=\dfrac{\rho h}{b^2}$,则 $R_1:R_2=b^2:a^2$,故 B、D 错误。

3.(2020届河南平顶山联考,8)(多选)如图所示,A 为电解槽,M 为电动机,N 为电炉,恒定电压 $U=12$ V,电解槽内阻 $r_A=2$ Ω。当 S_1 闭合,S_2、S_3 断开时,电流表 A 示数为 6 A;当 S_2 闭合,S_1、S_3 断开时,电流表 A 示数为 5 A,且电动机输出功率为 35 W;当 S_3 闭合,S_1、S_2 断开时,电流表 A 示数为 4 A。则　(　　)

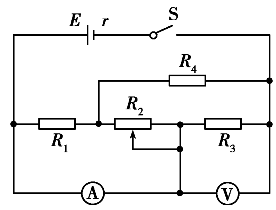


A.电炉的电阻为 2 Ω
B.仅 S_1 闭合时,电炉的发热功率为 72 W
C.电动机的内阻为 2.4 Ω
D.电解槽工作时,电能转化为化学能的功率为 48 W

答案　AB　电炉为纯电阻用电器,由欧姆定律得 $R=\dfrac{U}{I_1}=\dfrac{12}{6}$ Ω=2 Ω,其发热功率为 $P=UI_1=12\times6$ W=72 W,所以 A、B 正确。电动机为非纯电阻用电器,由能量守恒定律得 $UI_2=I_2^2r_M+P_{输出}$,所以 $r_M=\dfrac{UI_2-P_{输出}}{I_2^2}=\dfrac{12\times5-35}{5^2}$ Ω=1 Ω,C 错误。电解槽为非纯电阻用电器,由能量守恒定律得 $P_化=UI_3-I_3^2r_A$,所以 $P_化=(12\times4-4^2\times2)$ W=16 W,D 错误。

考点二　闭合电路欧姆定律

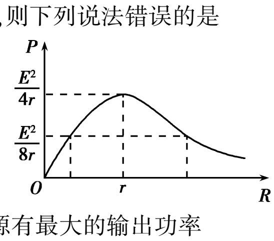
1.(2018河南名校联考,6)(多选)如图电路中,电源的内电阻为 r,R_1、R_3、R_4 均为定值电阻,电表均为理想电表。闭合开关 S,当滑动变阻器 R_2 的滑动触头向右滑动时,下列说法中正确的是　(　　)



A.电压表的示数变小
B.电流表的示数变小
C.R_1 中电流的变化量一定大于 R_4 中电流的变化量
D.电压表示数的变化量与电流表示数的变化量之比一定小于电源的内电阻 r

答案　BD　设通过 R_1、R_2、R_3、R_4 的电流分别为 I_1、I_2、I_3、I_4,两端的电压分别为 U_1、U_2、U_3、U_4,干路电流为 $I_总$,路端电压为 U,电流表示数为 I,当滑动变阻器 R_2 的滑动触头向右滑动时,R_2 连入电路的电阻变大,外电路总电阻变大,$I_总$ 变小,根据闭合电路欧姆定律得:$U=E-I_总r$,则 U 变大,U 即电压表的示数,选项 A 错误;电压表示数变大,I_3 变大,由 $I_4=I_总-I_3$,又 $I_总$ 变小,可得 I_4 变小,从而知 U_4 变小,而 $U_1=U-U_4$,U 变大,则 U_1 变大,I_1 变大,又 $I_总=I+I_1$,$I_总$ 变小,可知 I 变小,所以电流表的示数变小,选项 B 正确;由 $I_4=I_1+I_2$,I_4 变小,I_1 变大,知 I_2 变小,则 $\Delta I_1<\Delta I_2$,$\Delta I_2>\Delta I_4$,则无法比较 R_1 中电流变化量与 R_4 中电流变化量的大小关系,选项 C 错误;电源的内电阻 $r=\dfrac{\Delta U}{\Delta I_总}$,$I_总=I+I_1$,$I_总$ 变小,I 变小,I_1 变大,所以 $\Delta I_总<\Delta I$,可得 $\dfrac{\Delta U}{\Delta I_总}>\dfrac{\Delta U}{\Delta I}$,选项 D 正确。

2.在纯电阻电路中,当用一个固定的电源(设 E、r 是定值)向变化的外电阻供电时,关于电源的输出功率 P 随外电阻 R 变化的规律如图所示,则下列说法错误的是　(　　)

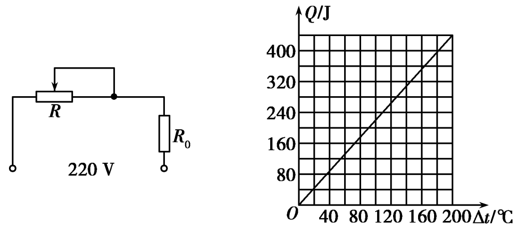


A.当 $R=r$ 时,电源有最大的输出功率
B.当 $R=r$ 时,电源的效率 $\eta=50\%$
C.电源的输出功率 P 随外电阻 R 的增大而增大
D.电源的效率 η 随外电阻 R 的增大而增大

答案　C　该图像反映了电源的输出功率 P 随外电阻 R 变化的规律。由图看出,电源的输出功率随着外电阻的增大先增大后减小,当 $R=r$ 时,电源有最大的输出功率,故 A 正确,C 错误。当 $R=r$,路端电压等于电源的内电压,则 $U=0.5E$,电源的效率 $\eta=\dfrac{P_出}{P_总}\times100\%=\dfrac{UI}{EI}\times100\%=50\%$,故 B 正确。电源的效率

$\eta=\frac{P_{出}}{P_{总}}\times100\%=\frac{UI}{EI}\times100\%=\frac{R}{R+r}\times100\%$，则知 R 增大时，电源的效率增大，故 D 正确。本题选择错误的，故选 C。

3.（2018 河南开封模拟，16）图甲所示是一种专供国内市场的家用电熨斗的电路图（额定电压为 220 V）。R_0 是定值电阻，R 是可变电阻（调温开关），其电阻值均不受温度影响。



甲　　　　　乙

（1）该电熨斗温度最低时的功率为 121 W，温度最高时的功率为 484 W，求 R_0 的阻值及 R 的阻值变化范围。

（2）假定电熨斗每秒钟散发的热量 Q 跟电熨斗表面温度与环境温度的温差关系如乙图所示，现在温度为 20 ℃的房间使用该电熨斗来熨烫毛料西服，要求熨斗表面温度为 220 ℃，且保持不变，问应将 R 的阻值调为多大？

答案　（1）见解析　（2）10 Ω

解析　（1）温度最低挡，$P_1=\frac{U^2}{R_{max}+R_0}$，即 121 W $=\frac{(220\ V)^2}{R_{max}+R_0}$

温度最高挡，$P_2=\frac{U^2}{R_0}$，即 484 W $=\frac{(220\ V)^2}{R_0}$

解得 $R_0=100\ \Omega$，$R_{max}=300\ \Omega$

所以 R 的阻值变化范围是 0 到 300 Ω

（2）此时电熨斗表面温度与环境温度之差 $\Delta t=220$ ℃ − 20 ℃ = 200 ℃

由图乙知电熨斗每秒钟散发的热量 $Q=440$ J

要保持电熨斗的表面温度不变，则电熨斗的电功率 $P=$ 440 W，$P=\frac{U^2}{R+R_0}$，得 $R=10\ \Omega$

故应将 R 的阻值调至 10 Ω

炼技法 提能力　方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧　对应学生用书起始页码 106

方法 1　电路故障的分析方法

1.故障特点

（1）断路特点：电路中发生断路，表现为电源电压不为零而电流为零；若外电路中任意两点间的电压不为零，则这两点间有断点，而这两点与电源连接部分无断点。

（2）短路特点：电路中发生短路，表现为有电流通过电路而电压为零。

2.故障的分析方法

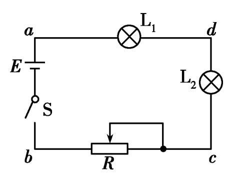
（1）仪器检测法

①断路故障的判断：用电压表与电源并联，若有电压，再逐段与电路并联，若电压表指针偏转，则该段电路中可能有断点。

②短路故障的判断：用电压表与电源并联，若有电压，再逐段与电路并联，若电压表示数为零，则该并联段电路被短路。若电压表示数不为零，则该并联段电路没有被短路或不完全被短路。

（2）假设法：已知电路发生某种故障，寻找故障发生的位置时，可将整个电路划分为若干部分；然后逐一假设某部分电路发生故障，运用欧姆定律进行正向推理，推理结果若与题述物理现象不符合，则故障不是发生在这部分电路；若推理结果与题述物理现象符合，则故障可能发生在这部分电路，直到找出发生故障的全部可能为止，亦称排除法。

例 1　如图所示，电源电动势为 6 V，当开关 S 接通时，灯泡 L_1 和 L_2 都不亮，用电压表测得各部分电压是 $U_{ad}=0$，$U_{cd}=6$ V，$U_{ab}=6$ V，由此可判定　（　　）



A.L_1 和 L_2 的灯丝都断了

B.L_1 的灯丝断了

C.L_2 的灯丝断了

D.变阻器 R 断路

解析　根据电路发生断路的特点进行判断。因 $U_{ab}=6$ V 则说明电源没有问题，是外电路出现故障，而 $U_{cd}=6$ V，则说明 L_1、R 完好，又 $U_{ad}=0$，则说明 L_2 的灯丝断了，故 C 正确。

答案　C

方法 2　含容电路问题的分析与计算

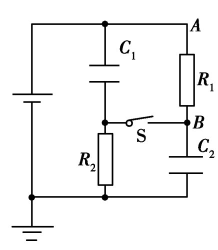
在直流电路中，当电容器充、放电时，电路里有充、放电电流。一旦电路达到稳定状态，电容器在电路中就相当于一个阻值无限大（只考虑电容器是理想的不漏电的情况）的元件，在电容器处电路可看做断路，简化电路时可去掉它。简化后若要求电容器所带电荷量，可接在相应的位置上。分析和计算含有电容器的直流电路问题时，需注意以下几点：

1.电路稳定后，由于电容器所在支路无电流通过，所以在此支路中的电阻上无电压降，因此电容器两极板间的电压就等于该支路两端的电压。

2.当电容器和电阻并联后接入电路时，电容器两极板间的电压与其并联电阻两端的电压相等。

3.电路的电流、电压变化时，将会引起电容器的充（放）电。如果电容器两端电压升高，电容器将充电；如果电压降低，电容器将通过与它连接的电路放电。

例 2　如图所示，已知 $R_1>R_2$，$C_1=C_2$，当 S 断开时，电容为 C_1 的电容器内有一带电微粒处于平衡状态，下面叙述正确的是　（　　）



A.S 断开时，C_1、C_2 电荷量之比为 1∶1

B.S 闭合后，C_1、C_2 电荷量之比为 R_1∶R_2

C.S 闭合后，C_1 内的带电微粒向上加速运动

D.S 闭合后，B 点电势降低

解析　当 S 断开时外电路处于断路状态，两电容器两极

板间电压都等于电源电动势,故由$Q=CU$知A正确。S闭合后,外电路由两电阻串联组成,电容为C_1的电容器、电容为C_2的电容器分别并联在R_1、R_2的两端,由$Q=CU$、$U=IR$知$Q_1:Q_2=R_1:R_2$,B正确。由于S闭合后电容器两极板间电压降低,板间电场强度减小,电容为C_1的电容器内的带电微粒所受电场力减小,微粒应向下加速运动,C错误。因开关闭合后,B点电势等于R_2两端电压,开关闭合前,B点电势等于电源电动势,故D正确。

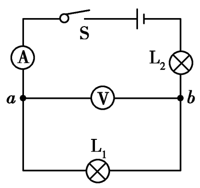
答案 ABD

方法集训

对应学生用书起始页码107

方法1 电路故障的分析方法

1.(2020届内蒙古包头三校联考,7)如图所示,闭合开关S,两个灯泡都不亮,电流表指针几乎不动,而电压表指针有明显偏转,该电路的故障可能是 ( )



A.电流表坏了或未接好

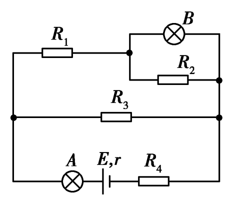
B.从a经过L_1到b的电路中有断路

C.L_2灯丝烧断或灯座未接通

D.电流表和L_1、L_2都坏了

答案 B 小灯泡不亮,电流表指针几乎不动,但电压表指针有明显偏转,说明发生了断路,且断路发生在和电压表并联的电路上,即从a经过L_1到b的电路中有断路,故应选B项。

2.(2018山西太原阶段检测)(多选)在如图所示的电路中,由于某一电阻发生短路或断路,使A灯变暗,B灯变亮,则故障可能是 ( )



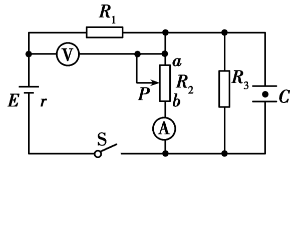
A.R_1短路 B.R_2断路

C.R_3断路 D.R_4短路

答案 BC R_1短路时,$R_外$减小,干路中电流增大,A灯变亮,故A项错。R_2断路时,$R_外$增大,干路中电流减小,A灯变暗,此时R_3两端电压变大,则R_3分流变大,R_1分流减小,则R_1的分压减小,B灯的分压增大,B灯变亮,故B项正确。R_3断路时,$R_外$增大,则干路中电流减小,A灯变暗,路端电压变大,A灯、R_4两端电压变小,R_1、B灯两端电压均增大,B灯变亮,故C项正确。R_4短路时,$R_外$减小,干路中电流增大,A灯变亮,故D项错。

方法2 含容电路问题的分析与计算

1.(2018陕西西安质检,8)如图所示的电路中,电源的电动势为E,内阻为r,R_1、R_3为定值电阻,R_2为滑动变阻器,C为平行板电容器,开关S闭合后,电容器两板正中央有一个带电液滴恰好静止。电流表和电压表都可以视为理想电表。当滑动变阻器滑片P向b端滑动过程中,下述说法正确的是 ( )



A.电压表示数变大,电流表示数变小

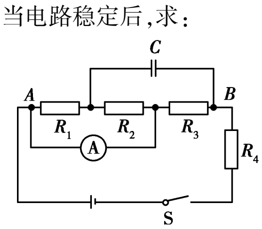
B.电压表示数变小,电流表示数变大

C.电容器C所带电荷量增加,液滴向上加速运动

D.电容器C所带电荷量减小,液滴向下加速运动

答案 D 在滑动变阻器滑片P向b端滑动过程中,其接入电路的电阻减小,R_2与R_3并联的总电阻减小,电路的总电阻减小,总电流增大,R_1两端电压增大,则电压表示数变大;R_2与R_3并联部分两端的电压$U_{23}=E-I(R_1+r)$减小,通过R_3的电流减小,通过R_2的电流增大,则电流表示数变大,故A、B错误;R_2与R_3并联部分两端的电压减小,电容器极板间的电压减小,板间电场强度减小,液滴所受的电场力减小,则液滴将向下加速运动,由$Q=CU$可知电容器C所带电荷量减小,故C错误,D正确。

2.如图所示,电路中接一电动势为4 V、内阻为2 Ω的直流电源。电阻R_1、R_2、R_3、R_4的阻值均为4 Ω,电容器的电容为30 μF,电流表的内阻不计,当电路稳定后,求:



(1)电流表的读数;

(2)电容器所带的电荷量;

(3)如果断开电源,通过R_2的电荷量。

答案 (1)0.4 A (2)4.8×10^{-5} C (3)2.4×10^{-5} C

解析 本题考查闭合电路欧姆定律、含容电路的分析和计算。

(1)R_1、R_2被短路,由闭合电路欧姆定律得

$$I=\frac{E}{R_3+R_4+r}=0.4\ \text{A}。$$

(2)电容器两端的电压$U=IR_3=1.6$ V

电容器所带的电荷量$Q=CU=4.8\times10^{-5}$ C。

(3)断开电源后,电容器通过电阻R_1、R_2、R_3进行放电。由于R_1、R_2并联后与R_3串联,故通过R_2的电荷量为电容器带电荷量的一半,即$Q'=\frac{Q}{2}=2.4\times10^{-5}$ C。

2015-2019 5年高考 对应学生用书起始页码 247

A组　基础题组

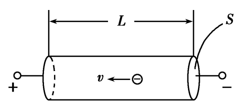
1.(2019 浙江 4 月选考,8,3 分)电动机与小电珠串联接入电路,电动机正常工作时,小电珠的电阻为 R_1,两端电压为 U_1,流过的电流为 I_1;电动机的内电阻为 R_2,两端电压为 U_2,流过的电流为 I_2。则 (　　)

A.$I_1<I_2$　　B.$\frac{U_1}{U_2}>\frac{R_1}{R_2}$

C.$\frac{U_1}{U_2}=\frac{R_1}{R_2}$　　D.$\frac{U_1}{U_2}<\frac{R_1}{R_2}$

答案　D　由题意可知 $I_1=I_2$,选项 A 错误;因 $U_2>I_2R_2$,$U_1=I_1R_1$,则$\frac{U_1}{U_2}<\frac{R_1}{R_2}$,选项 B、C 错误,D 正确;故选 D。

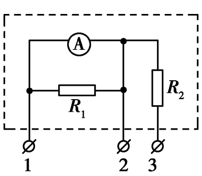
2.(2015 安徽理综,17,6 分)一根长为 L、横截面积为 S 的金属棒,其材料的电阻率为 ρ,棒内单位体积自由电子数为 n,电子的质量为 m,电荷量为 e。在棒两端加上恒定的电压时,棒内产生电流,自由电子定向运动的平均速率为 v,则金属棒内的电场强度大小为 (　　)



A.$\frac{mv^2}{2eL}$　　B.$\frac{mv^2Sn}{e}$　　C.ρnev　　D.$\frac{\rho ev}{SL}$

答案　C　金属棒的电阻 $R=\frac{\rho L}{S}$,自由电子定向移动形成的电流 $I=neSv$,金属棒两端电压 $U=IR$,故金属棒内的电场强度 $E=\frac{U}{L}=\frac{neSv\rho L}{LS}=nev\rho$,选项 C 正确。

3.(2015 北京理综,19,6 分)如图所示,其中电流表 A 的量程为 0.6 A,表盘均匀划分为 30 个小格,每一小格表示 0.02 A;R_1 的阻值等于电流表内阻的$\frac{1}{2}$;R_2 的阻值等于电流表内阻的 2 倍。若用电流表 A 的表盘刻度表示流过接线柱 1 的电流值,则下列分析正确的是 (　　)



A.将接线柱 1、2 接入电路时,每一小格表示 0.04 A

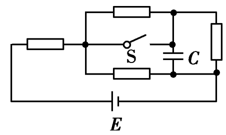
B.将接线柱 1、2 接入电路时,每一小格表示 0.02 A

C.将接线柱 1、3 接入电路时,每一小格表示 0.06 A

D.将接线柱 1、3 接入电路时,每一小格表示 0.01 A

答案　C　设电流表的内阻为 R_A,则 $R_1=\frac{1}{2}R_A$,$R_2=2R_A$,将接线柱 1、2 接入电路时,流过接线柱 1 的电流 $I_1=3I_0$,其中 I_0 为流过电流表 A 的电流,因此每一小格表示 0.06 A;将接线柱 1、3 接入电路时,流过接线柱 1 的电流 $I_1'=3I_0$,其中 I_0 为流过电流表 A 的电流,因此每一小格表示 0.06 A。选项 A、B、D 错误,C 正确。

4.(2016 课标Ⅱ,17,6 分)阻值相等的四个电阻、电容器 C 及电池 E(内阻可忽略)连接成如图所示电路。开关 S 断开且电流稳定时,C 所带的电荷量为 Q_1;闭合开关 S,电流再次稳定后,C 所带的电荷量为 Q_2。Q_1 与 Q_2 的比值为 (　　)



A.$\frac{2}{5}$　　B.$\frac{1}{2}$　　C.$\frac{3}{5}$　　D.$\frac{2}{3}$

答案　C　当开关 S 断开时等效电路如图 1 所示,电容器 C 两端的电压 $U=\frac{1}{5}E$,所带的电荷量 $Q_1=CU=\frac{1}{5}CE$;当开关 S 闭合时等效电路如图 2 所示,电容器 C 两端的电压 $U'=\frac{1}{3}E$,所带的电荷量 $Q_2=\frac{1}{3}CE$。所以$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{3}{5}$,C 项正确。

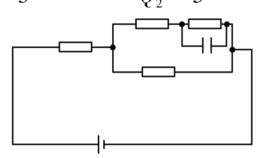


图 1

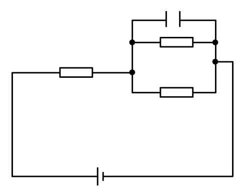
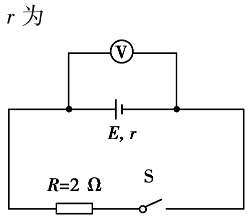


图 2

温馨提示　①化简电路时会熟练应用等电势点排列法,才能又准又快地画出等效电路。②电池内阻可忽略,说明路端电压与电池电动势相等。③画出 S 断开及 S 闭合时的等效电路。

B组　提升题组

1.(2019 江苏单科,3,3 分)如图所示的电路中,电阻 $R=2\ \Omega$。断开 S 后,电压表的读数为 3 V;闭合 S 后,电压表的读数为 2 V,则电源的内阻 r 为 (　　)



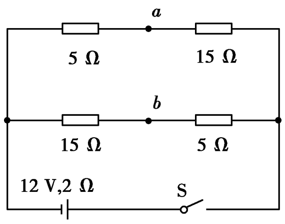
A.1 Ω　　B.2 Ω　　C.3 Ω　　D.4 Ω

答案　A　本题考查了欧姆定律内容,有利于培养学生的推理能力,体现了核心素养中的科学思维要素。

若断开 S,则电压表的示数等于电源电动势 E,则 $E=3$ V。若闭合 S,据串联电路电压分配关系可得$\frac{U}{E}=\frac{R}{R+r}$,且 $U=2$ V,$R=2\ \Omega$,得出 $r=1\ \Omega$,故选项 A 正确。

关键提示　电压表的读数为路端电压,而当断开 S 时,外电路电阻 $R_外$ 无穷大,此时可以认为电压表的读数就等于电源的电动势。

2.(2016江苏单科,8,4分)(多选)如图所示的电路中,电源电动势为12 V,内阻为2 Ω,四个电阻的阻值已在图中标出。闭合开关S,下列说法正确的有 ( )



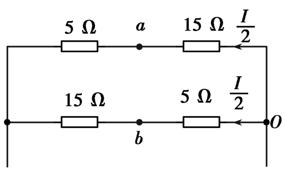
A.路端电压为10 V

B.电源的总功率为10 W

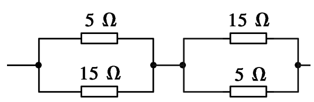
C.a、b间电压的大小为5 V

D.a、b间用导线连接后,电路的总电流为1 A

答案 **AC** 外电路的总电阻$R=10\ \Omega$,由闭合电路欧姆定律可得电路中的总电流$I=\frac{E}{R+r}=1$ A,因此路端电压$U=E-Ir=12\text{ V}-1\times2\text{ V}=10$ V,A选项正确;电源的总功率$P=EI=12$ W,B选项错误;由图(a)可知$U_{ab}=U_{aO}-U_{bO}=-15\times0.5\text{ V}+5\times0.5\text{ V}=-5$ V,故选项C正确;当a、b间用导线连接后,其等效电路如图(b)所示,电路中的外电阻$R'=7.5\ \Omega$,电路中总电流$I'=\frac{E}{R'+r}=\frac{12}{9.5}\text{ A}\neq1$ A,D选项错误。



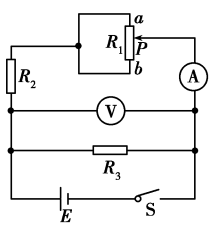
图(a)



图(b)

方法技巧 两部分电路间的电势差$U_{ab}=\varphi_a-\varphi_b$,可知$U_{ab}=\varphi_a-\varphi_b+\varphi_O-\varphi_O=(\varphi_a-\varphi_O)-(\varphi_b-\varphi_O)=U_{aO}-U_{bO}$。

3.(2016上海单科,18,4分)(多选)如图所示电路中,电源内阻忽略不计。闭合开关,电压表示数为U,电流表示数为I;在滑动变阻器R_1的滑片P由a端滑到b端的过程中 ( )



A.U先变大后变小

B.I先变小后变大

C.U与I比值先变大后变小

D.U变化量与I变化量比值等于R_3

答案 **BC** 据题意,由于电源内阻不计,电压表的示数总是不变,故选项A错误;滑片滑动过程中,变阻器R_1的等效阻值R_1'先增大后减小,又R_1、R_2两端总电压不变,且$R_2+R_1'=\frac{U}{I}$,所以电流表示数先减小后增大,故选项B、C正确;由于电压表示数没有变化,故选项D错误。

4.(2018北京理综,23,18分)如图1所示,用电动势为E、内阻为r的电源,向滑动变阻器R供电。改变变阻器R的阻值,路端电压U与电流I均随之变化。

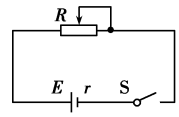


图1

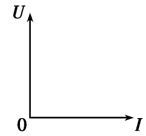


图2

(1)以U为纵坐标,I为横坐标,在图2中画出变阻器阻值R变化过程中U-I图像的示意图,并说明U-I图像与两坐标轴交点的物理意义。

(2)a.请在图2画好的U-I关系图线上任取一点,画出带网格的图形,以其面积表示此时电源的输出功率;

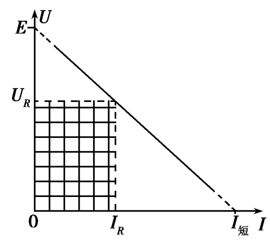
b.请推导该电源对外电路能够输出的最大电功率及条件。

(3)请写出电源电动势定义式,并结合能量守恒定律证明:电源电动势在数值上等于内、外电路电势降落之和。

答案 见解析

解析 (1)U-I图像如图所示。图像与纵轴交点的纵坐标值为电源电动势,与横轴交点的横坐标值为短路电流。

(2)a.如图所示。



b.电源输出的电功率

$$P=I^2R=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2R=\frac{E^2}{R+2r+\frac{r^2}{R}}$$

当外电路电阻$R=r$时,电源输出的电功率最大,为

$$P_{\max}=\frac{E^2}{4r}$$

(3)电动势定义式

$$E=\frac{W}{q}$$

根据能量守恒定律,在题图所示电路中,非静电力做功W产生的电能等于在外电路和内电路产生的电热,即

$$W=I^2rt+I^2Rt=Irq+IRq$$

得$E=Ir+IR=U_{内}+U_{外}$

试题评析 闭合电路及U-I图像

(1)本题考查闭合电路中路端电压U随干路电流I变化的关系图线,电源的输出功率及其最大值,以及最大值的产生条件。考查内容为教材的基本知识。此题作为一道高考中分值不小的计算题,提示考生要注重基本知识的学习。

(2)电动势是电源的最基本特征量,在学习中学生不仅仅要掌握其定义式,更要深刻理解其内含,并能灵活应用。

C组　教师专用题组

1.(2016北京理综,19,6分)某兴趣小组探究用不同方法测定干电池的电动势和内阻,他们提出的实验方案中有如下四种器材组合。为使实验结果尽可能准确,最不可取的一组器材是　(　　)

A.一个安培表、一个伏特表和一个滑动变阻器

B.一个伏特表和多个定值电阻

C.一个安培表和一个电阻箱

D.两个安培表和一个滑动变阻器

答案　D　根据 $U=E-Ir$,要测出 E 和 r,就要同时测出 U 和 I,A、B、C三个选项都能满足要求;D选项只能测出电流 I,不能测出电压 U,所以选D。

解题方法　测量电源的电动势和内阻有多种方法,最常用的方法有:

(1)伏安法,电路如图1所示。

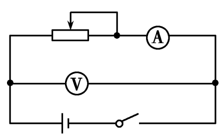


图1

(2)伏阻法,电路如图2所示。

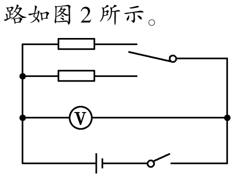


图2

(3)安阻法,电路如图3所示。

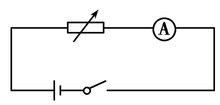
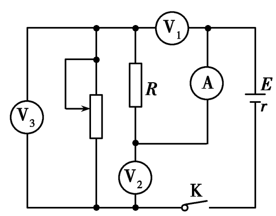


图3

评析 本题考查测量电源电动势和内阻的原理和方法,意在考查学生灵活应用闭合电路欧姆定律解决实际问题的能力。

2.(2014上海单科,18,4分)(多选)如图,电路中定值电阻阻值 R 大于电源内阻阻值 r。将滑动变阻器滑片向下滑动,理想电压表 V_1、V_2、V_3 示数变化量的绝对值分别为 ΔU_1、ΔU_2、ΔU_3,理想电流表A示数变化量的绝对值为 ΔI,则　(　　)



A.A的示数增大　　B.V_2 的示数增大

C.ΔU_3 与 ΔI 的比值大于 r　　D.ΔU_1 大于 ΔU_2

答案　ACD　滑动变阻器的滑片向下滑动,导致滑动变阻器连入电路的阻值变小,总电阻变小,又电源电动势不变,则电流变大,即电流表示数变大,选项A对。电压表 V_1 测量定值电阻 R 两端的电压,因电流变大,所以 V_1 示数增大。电压表 V_2 测量定值电阻和滑动变阻器两端的总电压即路端电压,示数变小,选项B错。$\Delta U_1=\Delta I\times R$,$\Delta U_2=\Delta I\times r$,所以 $\Delta U_1>\Delta U_2$,选项D对。电压表 V_3 测量滑动变阻器两端的电压,电压表 V_3 示数的变化量 $\Delta U_3=\Delta I\times(r+R)$,所以 $\frac{\Delta U_3}{\Delta I}=r+R>r$,选项C对。

3.(2015北京理综,24,20分)真空中放置的平行金属板可以用作光电转换装置,如图所示。光照前两板都不带电。以光照射 A 板,则板中的电子可能吸收光的能量而逸出。假设所有逸出的电子都垂直于 A 板向 B 板运动,忽略电子之间的相互作用。保持光照条件不变。a 和 b 为接线柱。

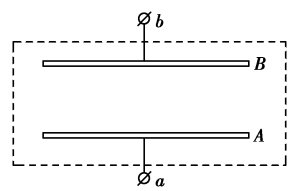
已知单位时间内从 A 板逸出的电子数为 N,电子逸出时的最大动能为 E_{km}。元电荷为 e。

(1)求 A 板和 B 板之间的最大电势差 U_m,以及将 a、b 短接时回路中的电流 $I_{短}$。

(2)图示装置可看做直流电源,求其电动势 E 和内阻 r。

(3)在 a 和 b 之间连接一个外电阻时,该电阻两端的电压为 U。外电阻上消耗的电功率设为 P;单位时间内到达 B 板的电子,在从 A 板运动到 B 板的过程中损失的动能之和设为 ΔE_k。请推导证明:$P=\Delta E_k$。

(注意:解题过程中需要用到、但题目没有给出的物理量,要在解题中做必要的说明)



答案　(1)$\frac{E_{km}}{e}$　Ne　(2)$\frac{E_{km}}{e}$　$\frac{E_{km}}{Ne^2}$　(3)见解析

解析　(1)由动能定理,$E_{km}=eU_m$,可得

$U_m=\frac{E_{km}}{e}$

短路时所有逸出电子都到达 B 板,故短路电流

$I_{短}=Ne$

(2)电源的电动势等于断路时的路端电压,即上面求出的 U_m,所以

$E=U_m=\frac{E_{km}}{e}$

电源内阻 $r=\frac{E}{I_{短}}=\frac{E_{km}}{Ne^2}$

(3)外电阻两端的电压为 U,则电源两端的电压也是 U。

由动能定理,一个电子经电源内部电场后损失的动能

$\Delta E_{ke}=eU$

设单位时间内有 N' 个电子到达 B 板,则损失的动能之和

$\Delta E_k=N'\Delta E_{ke}=N'eU$

根据电流的定义,此时电源内部的电流

$I=N'e$

此时流过外电阻的电流也是 $I=N'e$,外电阻上消耗的电功率

$P=IU=N'eU$

所以 $P=\Delta E_k$

3年模拟 2018-2020

对应学生用书起始页码 249

时间:50分钟 分值:90分

一、选择题(每小题6分,共54分)

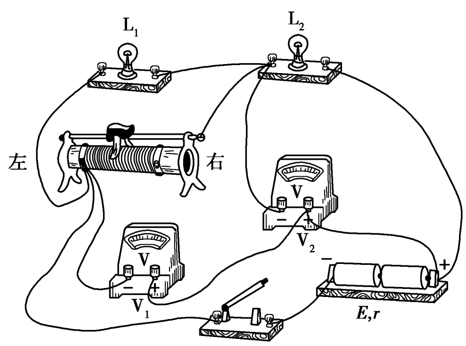
1.(**2020届云南曲靖检测**)铜的摩尔质量为M,密度为ρ,每摩尔铜原子中有n个自由电子,今有一横截面积为S的铜导线,当通过的电流为I时,电子定向移动的平均速率为 ( )

A.光速c B.$\frac{I}{neSM}$

C.$\frac{\rho I}{neSM}$ D.$\frac{MI}{neS\rho}$

答案 D 此铜导线单位长度的质量为$M'=\rho S$,单位长度中的原子数为$N=\frac{M'}{M}n$。设自由电子定向移动的速率为v,导线中自由电子从一端定向移动到另一端所用时间为t,移动距离为l。根据电流定义可知,当通过的电流为I时,$I=\frac{Q}{t}=\frac{Nle}{\frac{l}{v}}=\frac{\rho Snev}{M}$,解得$v=\frac{MI}{neS\rho}$,故D对。

2.(**2019湖南郴州质检一,6**)如图所示,电源电动势为E,内电阻为r,两电压表可看成理想电表,当闭合开关,将滑动变阻器的滑片由右端向左端滑动时,下列说法中正确的是 ( )



A.小灯泡L_1、L_2均变暗

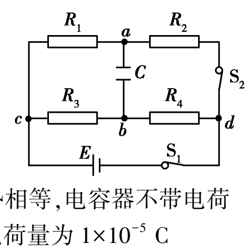
B.小灯泡L_1变亮,V_1表的读数变大

C.小灯泡L_1变暗,V_1表的读数变小

D.小灯泡L_2变亮,V_2表的读数不变

答案 C 由题图知,滑动变阻器与小灯泡L_1并联后与小灯泡L_2串联,电压表V_1测量路端电压,电压表V_2测量小灯泡L_2两端的电压。将滑动变阻器的滑片由右向左滑动时,滑动变阻器接入电路的电阻变小,滑动变阻器与小灯泡L_1并联的电阻变小,外电路总电阻变小,路端电压变小,电压表V_1的读数变小。由闭合电路欧姆定律可知,干路电流变大,小灯泡L_2变亮,电压表V_2的读数变大。小灯泡L_1两端的电压$U_1=E-I(r+R_{L_2})$变小,小灯泡L_1变暗。故A、B、D错误,C正确。

3.(**2019山西晋城一模,5**)如图所示的电路中,电源电动势$E=10\ V$,内电阻不计,电阻$R_1=14.0\ \Omega$,$R_2=6.0\ \Omega$,$R_3=2.0\ \Omega$,$R_4=8.0\ \Omega$,电容器的电容$C=2\ \mu F$,开关S_1、S_2闭合,下列说法正确的是 ( )



A.电容器两端电势相等,电容器不带电荷

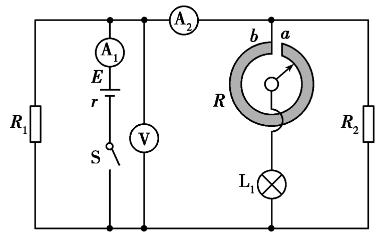
B.电容器所带的电荷量为1×10^{-5} C

C.若仅将开关S_2断开,电容器所带的电荷量为零

D.若仅将开关S_2断开,电容器所带的电荷量改变了6×10^{-6} C

答案 B 由图可知,$U_{R1}:U_{R2}=R_1:R_2=7:3$,且$U_{R1}+U_{R2}=10\ V$,得$U_{R1}=7\ V$,$U_{R2}=3\ V$,同理可得$U_{R3}=2\ V$,$U_{R4}=8\ V$,则$b$点电势高,下极板带正电,选项A错误;$U_{ba}=8\ V-3\ V=5\ V$,$Q=CU_{ba}=2\times10^{-6}\times5\ C=1\times10^{-5}\ C$,选项B正确;开关$S_2$断开后,$U_{ab}=U_{R3}=2\ V$,$Q'=CU_{ab}=2\times10^{-6}\times2\ C=4\times10^{-6}\ C$,此时下极板带负电,变化的电荷量为$\Delta Q=Q+Q'=1.4\times10^{-5}\ C$,选项C、D错误。

4.(**2018河北衡水中学六调**)(多选)某电路如图所示,电源电动势为E、内阻为r,R_1、R_2为定值电阻,R为电位器(滑动变阻器),L_1是小灯泡,电压表和电流表均为理想电表。当电位器的触片滑向b端时,下列说法正确的是 ( )



A.小灯泡L_1将变亮

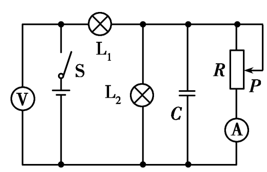
B.电压表示数与电流表A_1示数的比值将变大

C.电流表A_1的示数将变大

D.电源的总功率将变大

答案 ACD 电位器的触片滑向b端时,电位器接入电路的电阻减小,外电路总电阻$R_总$减小,由闭合电路欧姆定律知,总电流变大,电流表A_1的示数将变大,则内阻分担电压变大,路端电压变小,电压表V的示数将减小,流过R_1和R_2的电流均减小,流过L_1的电流将增大,灯泡L_1将变亮,故A、C正确;电压表V的示数与电流表A_1示数的比值等于外电路总电阻,可知该比值将变小,故B错误;总电流变大,由$P=EI$知,电源的总功率将变大,故D正确。

5.(**2020届广西五校联考,9**)在如图所示的电路中,当开关S闭合后,若将滑动变阻器的滑片P向下调节,下列说法正确的是 ( )



A.电压表和电流表的示数都增大

B.灯L_2变暗,电流表的示数减小

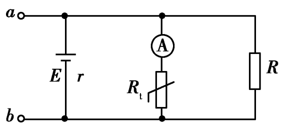
C.灯L_1变亮,电压表的示数减小

D.灯L_2变亮,电容器的带电荷量增加

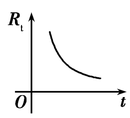
答案 C 本题考查了含容电路的动态分析。

将滑动变阻器的滑片P向下调节,滑动变阻器接入电路的电阻减小,外电路总电阻减小,根据闭合电路欧姆定律分析得知,路端电压U减小,干路电流I增大,则电压表的示数减小,灯L_1变亮,U_1增大,R与灯L_2并联电路的电压$U_2=U-U_1$,则U_2减小,即I_2减小,灯L_2变暗,电容器的带电荷量减少,流过电流表的电流$I_A=I-I_2$,I增大,I_2减小,则I_A增大,电流表的示数增大,故C正确。

6.(2018 安徽皖西高中教学联盟联考,6)如图甲所示为一温度报警装置,其中 R 为定值电阻,R_t 为一半导体热敏电阻,其电阻随温度变化的关系如图乙所示。电流表示数用 I 表示,a、b 两点接在报警器上,用来监控电压 U_{ab},当 U_{ab} 过低时开始报警,若温度逐渐升高,则　　(　　)



甲

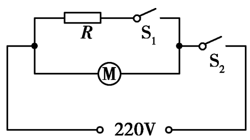


乙

A.U_{ab}增大,I 增大,不报警
B.U_{ab}减小,I 减小,报警
C.U_{ab}增大,I 减小,不报警
D.U_{ab}减小,I 增大,报警

答案　D　若温度逐渐升高,R_t 的阻值减小,总电阻减小,总电流增大,内电压增大,路端电压 U_{ab} 逐渐减小,报警;R 支路的电流减小,电流表所在支路的电流增大,选项 D 正确。

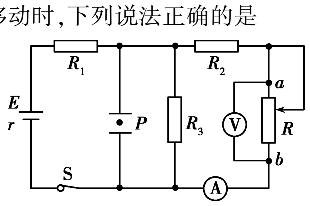
7.(2020 届江西南昌调研,10)(多选)如图所示是某型号电吹风的电路图,它主要由电动机 M 和电热丝 R 构成,已知电吹风的额定电压为 220 V,吹冷风时的功率为120 W,吹热风时的功率为1 000 W,关于该电吹风,下列说法正确的是　　(　　)



A.若 S_1、S_2 闭合,则电吹风吹冷风
B.电热丝的电阻为 55 Ω
C.电动机工作时输出的机械功率为 880 W
D.当电吹风吹冷风时,电动机每秒消耗的电能为 120 J

答案　BD　若 S_1、S_2闭合,由电路图知电热丝接入电路并发热,则电吹风吹热风,故 A 项错误。吹热风时的功率比吹冷风时的功率多了1 000 W−120 W=880 W,即电热丝的发热功率,$P=\frac{U^2}{R}=\frac{(220\ \text{V})^2}{R}=880$ W,解得 $R=55$ Ω,故 B 项正确。电动机吹冷风时输入功率为 120 W,考虑电动机线圈电阻发热功率,电动机输出的机械功率只能小于 120 W,所以不可能是 880 W,故 C 项错误。电动机吹冷风时输入功率为 120 W,电动机每秒消耗的电能 $W=Pt=120$ J,故 D 项正确。

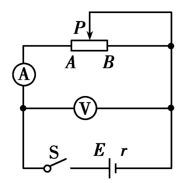
8.(2019 河北百校联盟二联,6)(多选)如图所示,电源的电动势为 E,内阻为 r,R_1、R_2、R_3 为定值电阻(阻值均大于电源内阻 r),R 为滑动变阻器,A 为理想电流表,V 为理想电压表。开关 S 闭合,一带电油滴 P 静止在平行金属板之间,当滑动变阻器的滑片向 a 端移动时,下列说法正确的是　　(　　)



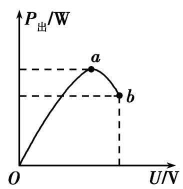
A.电源的输出功率逐渐减小
B.电压表和电流表的读数都变小
C.油滴 P 将向上运动
D.R_1 和 R_3 的功率都变小

答案　AC　由题意可知,外电路总电阻大于电源的内阻 r,当外电阻增大时,电源的输出功率逐渐减小,选项 A 正确;当滑动变阻器的滑片向 a 端移动时,滑动变阻器接入电路的有效阻值变大,电路中的总电流变小,电源的内电压、R_1 两端的电压都变小,则并联部分电压变大,通过 R_3 的电流变大,则通过 R_2 的电流变小,即电流表的读数变小,R_2 两端电压变小,则电压表的读数变大,选项 B 错误;电容器两端的电压与 R_3 两端的电压相等,都变大,P 向上运动,R_1 的功率变小,R_3 的功率变大,选项 C 正确,D 错误。

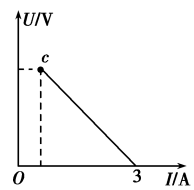
9.(2018 东北三校联考,10)(多选)如图甲所示,电源电动势E=6 V,闭合开关,将滑动变阻器的滑片 P 从 A 端滑至 B 端的过程中,得到电路中的一些物理量的变化如图乙、丙、丁所示。其中图乙为输出功率与路端电压的关系曲线,图丙为路端电压与总电流的关系曲线,图丁为电源效率与外电路电阻的关系曲线,不考虑电表、导线对电路的影响。则下列关于图中 a、b、c、d 点的坐标值正确的是　　(　　)



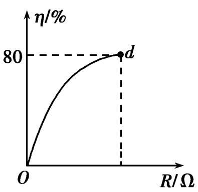
甲



乙



丙



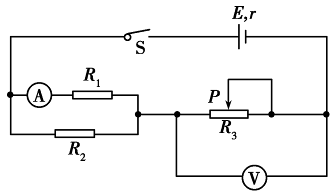
丁

A.a(4 V,4.5 W)　　B.b(4.8 V,2.88 W)
C.c(0.6 A,4.5 V)　　D.d(8 Ω,80%)

答案　BD　由题图丙可知短路电流 $I_短=3$ A,由 $I_短=\frac{E}{r}$,得 $r=\frac{E}{I_短}=\frac{6}{3}=2$ Ω,电源的效率最大时,滑动变阻器接入电路的电阻最大,由题图丁可知电源的最大效率为 $\eta_大=80\%$,由 $\eta_大=\frac{UI}{EI}=\frac{R}{R+r}$,解得 $R=8$ Ω,滑动变阻器的滑片 P 在最右端 B 时分别对应 b、c、d 三点,d 点坐标为(8 Ω,80%)。当输出功率达最大时外电路电阻 $R=r=2$ Ω,此时路端电压为 $U_a=3$ V,$P_a=\frac{E^2}{4r}=4.5$ W,则 a 点坐标为(3 V,4.5 W);b 点、c 点:$R=8$ Ω,$I_c=\frac{E}{R+r}=0.6$ A,$U_b=U_c=E-I_cr=4.8$ V,$P_b=U_bI_c=2.88$ W,所以 b 点的坐标为(4.8 V,2.88 W),c 点坐标为(0.6 A,4.8 V)。故选项 B、D 正确,A、C 错误。

二、非选择题(共 36 分)

10.(12 分)(2019 河北精英中学二调改编)如图所示的电路中,$R_1=4$ Ω,$R_2=2$ Ω,滑动变阻器 R_3 上标有“10 Ω　2 A”的字样,理想电压表的量程有 0~3 V 和 0~15 V 两挡,理想电流表的量程有0~0.6 A 和 0~3 A 两挡。闭合开关 S,将滑片 P 从最左端向右移动到某位置时,电压表、电流表示数分别为 2 V 和 0.5 A;继续向右移动滑片 P 至另一位置,电压表指针指在满偏的$\frac{1}{3}$处,电流表指针也指在满偏的$\frac{1}{3}$处。求电源电动势与内阻的大小。(保留两位有效数字)



答案 7.0 V 2.0 Ω

解析 滑片 P 向右移动的过程中,电流表示数减小,电压表示数增大,由此可以确定电流表量程选取的是 0~0.6 A,电压表量程选取的是 0~15 V,所以第二次电流表的示数为 $\frac{1}{3}\times 0.6\ \text{A}=0.2\ \text{A}$,电压表的示数为 $\frac{1}{3}\times 15\ \text{V}=5\ \text{V}$

当电流表示数为 0.5 A 时,R_1 两端的电压为 $U_1=I_1R_1=0.5\times 4\ \text{V}=2\ \text{V}$

回路的总电流为 $I_{总}=I_1+\frac{U_1}{R_2}=0.5\ \text{A}+\frac{2}{2}\ \text{A}=1.5\ \text{A}$

由闭合电路欧姆定律得 $E=I_{总}r+U_1+U_3$,即 $E=1.5\ \text{A}\cdot r+4\ \text{V}$

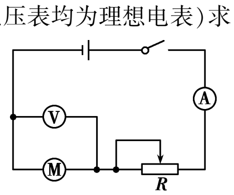
当电流表示数为 0.2 A 时,R_1 两端的电压为 $U_1'=I_1'R_1=0.2\times 4\ \text{V}=0.8\ \text{V}$

回路的总电流为 $I_{总}'=I_1'+\frac{U_1'}{R_2}=0.2\ \text{A}+\frac{0.8}{2}\ \text{A}=0.6\ \text{A}$

由闭合电路欧姆定律得 $E=I_{总}'r+U_1'+U_3'$,即 $E=0.6\ \text{A}\cdot r+5.8\ \text{V}$

联立解得 $E=7.0\ \text{V}$,$r=2.0\ \Omega$

11.(12分)(2018河北保定五校联考,18)某同学在研究微型直流电动机的性能时,采用如图所示的实验电路。调节滑动变阻器 R 的阻值,使电动机无法转动,此时电流表和电压表的示数分别为 0.2 A 和 0.3 V。重新调节 R 的阻值,使电动机能够正常运转,此时电流表和电压表的示数分别为 1.0 A 和 6.0 V。(电流表、电压表均为理想电表)求:



(1)这台电动机的线圈电阻;

(2)电动机正常运转时的输出功率。

答案 (1)1.5 Ω (2)4.5 W

解析 (1)当电动机无法转动时看做纯电阻元件,由欧姆定律得

线圈电阻 $R_0=\frac{U_1}{I_1}$

代入数据得 $R_0=1.5\ \Omega$

(2)当电动机恢复正常运转时,有:

$P_{电}=U_2I_2$ ①

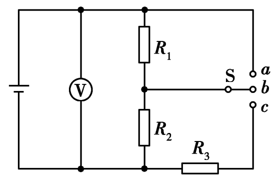
$P_{热}=I_2^2R_0$ ②

$P_{电}=P_{热}+P_{出}$ ③

由①②③式得 $P_{出}=U_2I_2-I_2^2R_0$

代入数据得 $P_{出}=4.5\ \text{W}$

12.(12分)(2018安徽皖西南名校联考,15)在如图所示的电路中,$R_1=2\ \Omega$,$R_2=R_3=4\ \Omega$,当开关 S 接 a 时,R_2 上消耗的电功率为 4 W,当开关 S 接 b 时,电压表示数为 4.5 V。试求:



(1)当开关 S 接 a 时,通过电源的电流和电源两端的电压;

(2)电源的电动势和内电阻;

(3)当开关 S 接 c 时,通过 R_2 的电流。

答案 (1)1 A 4 V (2)6 V 2 Ω (3)0.5 A

解析 (1)开关 S 接 a 时,R_1 被短路,电路为 R_2 的简单电路,由 $P_2=I^2R_2$ 得

通过电源的电流为:$I=\sqrt{\frac{P_2}{R_2}}=1\ \text{A}$

电源两端的电压等于 R_2 两端的电压为:$U=IR_2=1\times 4\ \text{V}=4\ \text{V}$

(2)由闭合电路欧姆定律得

当开关 S 接 a 时,有:$E=U+Ir$

代入数据得:$E=4+r$

当开关 S 接 b 时,电压表示数为 4.5 V,$R_{外}=R_1+R_2=6\ \Omega$

$I'=\frac{U'}{R_{外}}=0.75\ \text{A}$

此时 $E=4.5+0.75r$

解得:$E=6\ \text{V}$,$r=2\ \Omega$

(3)当开关 S 接 c 时,R_2 与 R_3 并联

$R_{23}=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$

$R_{总}=R_1+r+R_{23}=6\ \Omega$

总电流 $I''=\frac{E}{R_{总}}=1\ \text{A}$

通过 R_2 的电流为:$I_2=\frac{1}{2}I''=0.5\ \text{A}$

专题十 磁场

探考情 悟真题 5年考情探究 真题典例探秘

考情探究 对应学生用书起始页码108

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
磁场及其作用	磁场的描述	2018课标Ⅱ,20,6分	3		物质观念		★★☆
		2017课标Ⅲ,18,6分	4		物质观念		
		2016北京理综,17,6分	3		物质观念		
		2015课标Ⅱ,18,6分	2		物质观念		
	磁场对通电导体的作用	2019课标Ⅰ,17,6分	3	电路连接	模型建构		
		2017课标Ⅱ,21,6分	3	电路	科学推理		
		2015课标Ⅰ,24,12分	4	胡克定律	运动与相互作用观念		
		2019江苏单科,7,4分	2		运动与相互作用观念		
		2018江苏单科,13,15分	4	牛顿运动定律	运动与相互作用观念		
		2017上海单科,11,4分	2		运动与相互作用观念		
	磁场对运动电荷的作用	2019课标Ⅰ,24,12分	4	牛顿运动定律	运动与相互作用观念		
		2019课标Ⅱ,17,6分	3	牛顿运动定律	模型建构		
		2019课标Ⅲ,18,6分	3	牛顿运动定律	模型建构		
		2017课标Ⅱ,18,6分	4		模型建构		
		2017课标Ⅲ,24,12分	4	牛顿运动定律	模型建构		
		2016课标Ⅱ,18,6分	4	圆周运动	模型建构		
		2016课标Ⅲ,18,6分	4	圆周运动	模型建构		
		2015课标Ⅰ,14,6分	3	圆周运动	运动与相互作用观念		
		2015课标Ⅱ,19,6分	3	圆周运动	运动与相互作用观念		
		2019北京理综,16,6分	3	牛顿运动定律	科学推理		
		2019江苏单科,16,16分	4	圆周运动	模型建构		
		2016四川理综,4,6分	4	圆周运动	模型建构		
		2015四川理综,7,6分	4	圆周运动	模型建构		

续表

考点	考向	5 年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
带电粒子在复合场中的运动	组合场	2018 课标Ⅱ,25,20 分	4	牛顿运动定律	模型建构		★★★
		2018 课标Ⅰ,25,20 分	4	牛顿运动定律	模型建构		
		2018 课标Ⅲ,24,12 分	4	动能定理	运动与相互作用观念		
		2018 天津理综,11,18 分	4	牛顿运动定律	模型建构	类比法	
		2017 天津理综,11,18 分	4	运动合成	模型建构	类比法	
		2016 课标Ⅰ,15,6 分	3	动能定理	运动与相互作用观念		
		2015 重庆理综,9,18 分	4	动能定理	模型建构		
	叠加场	2019 天津理综,4,6 分	3	受力平衡	科学推理		
		2015 福建理综,22,20 分	4	动能定理	模型建构	类比法	
		2016 天津理综,11,18 分	4	牛顿运动定律	模型建构	类比法	

分析解读

本专题内容包括磁场的基本性质和安培力的应用、洛伦兹力和带电粒子在磁场中的运动、带电粒子在复合场中的运动等内容。复习时应侧重对磁场、磁感应强度、磁感线、地磁场、安培力、洛伦兹力等基本概念的理解,熟练掌握电流在磁场中、带电粒子在磁场中的受力和运动的分析方法,同时应注意结合牛顿运动定律、运动学知识、圆周运动规律及功和能的关系等知识进行综合分析,提高空间想象能力和运用数学知识解决物理问题的能力。从 2019 年课标三套试题来看,带电粒子在复合场中运动的题目没有出现,全部变为带电粒子在单一有界磁场中的运动,应引起足够重视。

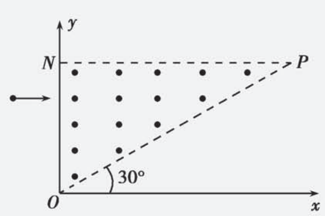
真题探秘

对应学生用书起始页码 109

(2019课标Ⅰ,24,12分)如图,在直角三角形OPN区域内存在匀强磁场,磁感应强度大小为B、方向垂直于纸面向外。一带正电的粒子从静止开始经电压U加速后,沿平行于x轴的方向射入磁场;一段时间后,该粒子在OP边上某点以垂直于x轴的方向射出。已知O点为坐标原点,N点在y轴上,OP与x轴的夹角为30°,粒子进入磁场的入射点与离开磁场的出射点之间的距离为d,不计重力。求

(1)带电粒子的比荷;

(2)带电粒子从射入磁场到运动至x轴的时间。



创设试题情景:有界磁场

给定第一个条件:粒子经电场加速进入磁场

给定第二个条件:粒子离开磁场时的位置和方向

设问针对带电粒子在电场加速和在磁场偏转,暗示应用动能定理和洛伦兹力提供向心力求解

设问针对带电粒子在有界磁场运动,需要在有界磁场中画粒子运动轨迹,找出对应的圆心角

① 核心要点

带电粒子在电场中的加速和在有界磁场中的偏转。

② 情景解读

静止的带电粒子在电场中加速后,进入有界的匀强磁场中,做不完整的圆周运动,离开磁场边界时速度方向垂直于x轴,确定运动轨迹,找出相应的圆心角,便可求出运动时间。

③ 思路分析

带电粒子在电场中加速,用动能定理求其离开电场的速度,即为进入磁场的速度,画出带电粒子在有界磁场中的轨迹,由几何关系确定出粒子的轨迹半径和圆心角,便可确定待求量。

④ 能力要求

在实际情景中抽象物理模型的能力。灵活应用复合场规律的能力。将生活中常见的现象与所学物理规律、物理模型有机结合的能力。在综合性题目中数学运算的能力。

⑤ 答案

详细解析见208页5年高考A组第8题

破考点 练考向　考点考向清单 考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 110

考点一　磁场及其作用

考向基础

一、磁场的描述

1.磁场

磁体与磁体之间、磁体与通电导体之间,以及通电导体与通电导体之间的相互作用,都是通过磁场发生的。

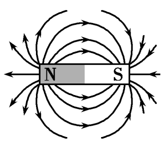
2.磁感应强度

磁感应强度:
- 物理意义:描述磁场的强弱和方向
- 定义式:$B=\frac{F}{IL}$(通电导体垂直于磁场)
- 单位:T(特斯拉,简称特),$1\text{T}=1\frac{\text{N}}{\text{A}\cdot\text{m}}$
- 方向:能自由转动的小磁针静止时 N 极的指向

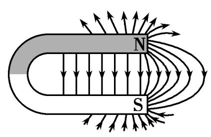
3.磁感线:在磁场中画出一系列曲线,使曲线上每一点的切线方向都跟这点的磁感应强度方向一致。

二、几种常见的磁场

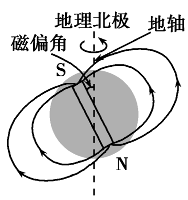
1.常见磁体的磁场



甲 条形磁铁

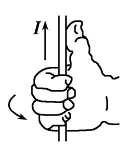
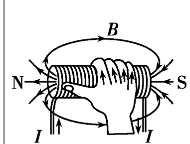
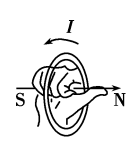
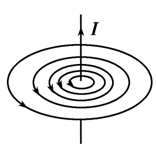
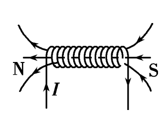
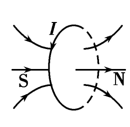
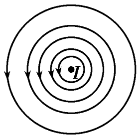
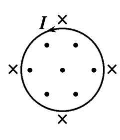
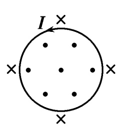


乙 蹄形磁铁



丙 地磁场

2.常见电流的磁场

	通电直导线	通电螺线管	环形电流
安培定则示意图			
立体图			
横截面图	 从上往下看	 从左往右看	 从右往左看

三、磁感线与电场线的比较

		磁感线	电场线
相似点	意义	为形象地描述磁场方向和相对强弱而假想的线	为形象地描述电场方向和相对强弱而假想的线
	方向	线上各点的切线方向即该点的磁场方向,是小磁针 N 极受力方向	线上各点的切线方向即该点的电场方向,是正电荷受电场力的方向
	疏密	表示磁场强弱	表示电场强弱
	特点	在空间不相交、不中断	除场源电荷处外,在空间不相交、不中断
不同点		是闭合曲线	电场线始于正电荷,止于负电荷或无穷远处,或始于无穷远,止于负电荷,不是闭合曲线

四、带电粒子在匀强磁场中的运动形式

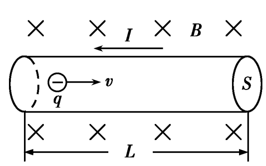
$v /\!/ B$	匀速直线运动
$v\perp B$	在垂直于磁感线平面内做匀速圆周运动
v 与 B 成 θ 角	在平行于磁场方向,以 $v\cos\theta$ 做匀速直线运动 在垂直于磁场方向,以 $v\sin\theta$ 做匀速圆周运动

五、带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动

条件	粒子垂直磁场方向射入匀强磁场中
轨迹平面	垂直于磁感线的平面内
向心力	洛伦兹力提供向心力,$F=Bqv$
轨迹半径	$R=\frac{mv}{qB}=\frac{p}{qB}$
周期(频率)	$T=\frac{2\pi m}{qB}\left(f=\frac{1}{T}=\frac{qB}{2\pi m}\right)$ 周期与粒子的运动速率无关
角速度	$\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{qB}{m}$ 角速度只取决于粒子的比荷与磁感应强度,与粒子的运动速率无关
动能	$E_k=\frac{1}{2}mv^2,R=\frac{mv}{qB}\Rightarrow E_k=\frac{B^2q^2R^2}{2m}$ 粒子运动的动能与磁感应强度、所带电荷量、比荷、轨道半径相关联

六、洛伦兹力的推导

如图所示,直导线长为 L,电流为 I,导体中运动电荷数为 n,横截面积为 S,电荷的电荷量为 q,运动速度为 v,则



安培力 $F=BIL=nF_{洛}$,

所以洛伦兹力 $F_{洛}=\frac{F}{n}=\frac{BIL}{n}$。

因为 $I=NqSv$(N 为单位体积内的电荷数),

所以 $F_{洛}=\frac{NqSv\cdot LB}{n}=\frac{NSL}{n}\cdot qvB$,式中 $n=NSL$,故 $F_{洛}=qvB$。

七、洛伦兹力与电场力的比较

比较项目	洛伦兹力 F	电场力 F
大小	$F=qvB(v\perp B)$	$F=qE$
与速度关系	$v=0$ 或 $v/\!/B$,$F=0$	与速度的有无、方向均无关
力的方向与场方向的关系	一定是 $F\perp B$,$F\perp v$	正电荷所受电场力的方向与电场方向相同,负电荷所受电场力的方向与电场方向相反
做功情况	任何情况下都不做功	可能做正功、负功,也可能不做功
力 F 为零时场的情况	F 为零,B 不一定为零	F 为零,E 一定为零
作用效果	只改变电荷运动的速度方向,不改变速度大小	既可以改变电荷运动的速度大小,也可以改变电荷运动的方向

考向突破

考向一　磁场的描述

安培定则的应用和磁场的叠加

1.安培定则的应用

在运用安培定则判定直线电流和环形电流的磁场时应分清“因”和“果”。

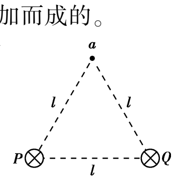
磁场	原因(电流方向)	结果(磁场方向)
直线电流的磁场	大拇指	四指
环形电流的磁场	四指	大拇指

2.磁场的叠加

(1)磁感应强度是矢量,计算时与力的计算方法相同,遵守平行四边形定则,可以用正交分解法进行合成与分解。

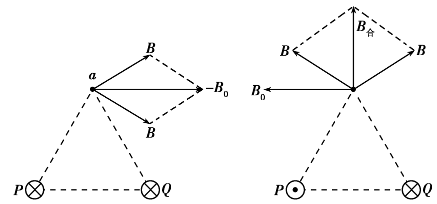
(2)两个电流附近的磁场的磁感应强度是由两个电流分别独立存在时产生的磁场在该处的磁感应强度叠加而成的。

例1　(2017课标Ⅲ,18,6分)如图,在磁感应强度大小为 B_0 的匀强磁场中,两长直导线 P 和 Q 垂直于纸面固定放置,两者之间的距离为 l。在两导线中均通有方向垂直于纸面向里的电流 I 时,纸面内与两导线距离均为 l 的 a 点处的磁感应强度为零。如果让 P 中的电流反向、其他条件不变,则 a 点处磁感应强度的大小为　(　　)



A.0　　B.$\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$　　C.$\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0$　　D.$2B_0$

解析　本题考查磁感应强度的矢量叠加和安培定则。两导线中通电流 I 时,两电流在 a 点处的磁感应强度与匀强磁场的磁感应强度的矢量和为0,则两电流磁感应强度的矢量和为 $-B_0$,如图甲得 $B=\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$。P 中电流反向后,如图乙,$B_{合}=B=\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$,$B_{合}$ 与 B_0 的矢量和为 $B_{总}=\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0$,故C项正确。



甲　　　　乙

答案　C

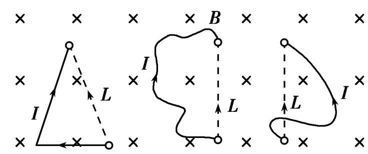
考向二　磁场对通电导体的作用

一、通电导体在磁场中的平衡问题

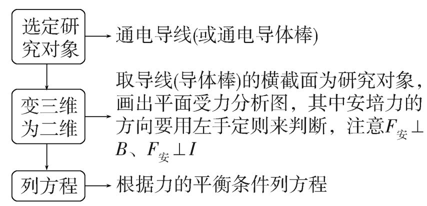
1.安培力

(1)方向:根据左手定则判断。

(2)大小:$F=BIL\sin\theta$(其中 θ 为 B 与 I 之间的夹角),若磁场和电流垂直:$F=BIL$;若磁场和电流平行:$F=0$。其中的 L 为导线在磁场中的有效长度。如弯曲通电导线的有效长度 L 等于连接两端点的线段的长度,相应的电流方向沿两端点连线由始端指向末端,如图所示。



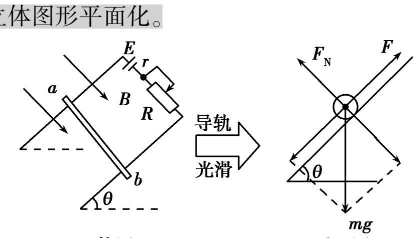
2.求解安培力作用下通电导体的平衡问题的基本思路



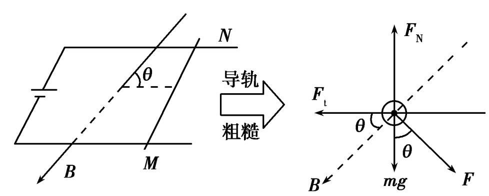
3.求解关键

(1)电磁问题力学化。

(2)立体图形平面化。

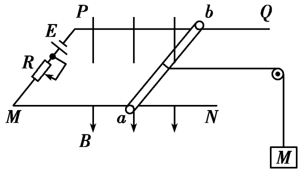


立体图　　　　平面图



立体图　　　　平面图

例2　(2019河南六市联考)如图所示,PQ 和 MN 为水平平行放置的金属导轨,相距 $L=1$ m。P、M 间接有一个电动势为 $E=6$ V,内阻不计的电源和一只滑动变阻器,导体棒 ab 跨放在导轨上并与导轨接触良好,棒的质量为 $m=0.2$ kg,棒的中点用细绳经定滑轮与物体相连,物体的质量 $M=0.4$ kg。棒与导轨间的动摩擦因数为 $\mu=0.5$(设最大静摩擦力与滑动摩擦力相等,导轨与棒的电阻不计,g 取10 m/s^2),匀强磁场的磁感应强度 $B=2$ T,方向竖直向下,为了使物体保持静止,滑动变阻器连入电路的阻值不可能的是　(　　)



A.2 Ω　　B.2.5 Ω　　C.3 Ω　　D.4 Ω

解析　对棒 ab 受力分析可知,其受绳的拉力 $T=Mg$、安培力 $F_安=BIL=\frac{BEL}{R}$和水平方向的摩擦力。若摩擦力向左,且满足$\frac{BEL}{R_1}+\mu mg=Mg$,代入数据解得 $R_1=4\ \Omega$;若摩擦力向右,且满足$\frac{BEL}{R_2}-\mu mg=Mg$,代入数据解得 $R_2=2.4\ \Omega$,所以 R 的取值范围为 $2.4\ \Omega\leqslant R\leqslant 4\ \Omega$,则选 A。

答案　A

二、通电导体在磁场中运动情况的判定

1.五种判定方法

电流元法	分割为电流元 $\xrightarrow{\text{左手定则}}$ 安培力方向⟶整段导体所受合力方向⟶运动方向
特殊位置法	特殊位置⟶安培力方向⟶运动方向
等效法	环形电流⟺小磁针 条形磁铁⟺通电螺线管⟺多个环形电流
结论法	同向电流相互吸引,异向电流相互排斥,两不平行的直线电流相互作用时,有转到平行且电流方向相同的趋势
转换研究对象法	先分析电流所受的安培力,再用牛顿第三定律,确定磁体受电流的作用力

2.常规思路

研究对象:通电导体 —明确→ 导体所在位置的磁场分布情况 —利用左手定则→ 导体的受力情况 —确定→ 导体的运动方向或运动趋势方向

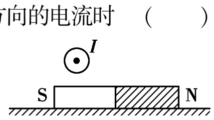
例3　如图所示,一条形磁铁放在水平桌面上,在其左上方固定一根与磁铁垂直的长直导线,当导线中通以图示方向的电流时　(　　)

A.磁铁对桌面的压力增大

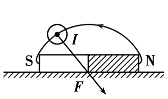
B.磁铁对桌面的压力减小

C.磁铁受到向右的摩擦力作用

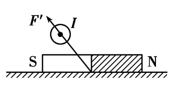
D.磁铁受到向左的摩擦力作用



解析　根据条形磁铁磁感线分布情况得到直线电流所在位置的磁场方向,再根据左手定则判断安培力方向,如图甲。



甲



乙

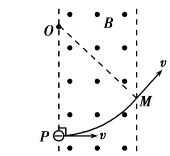
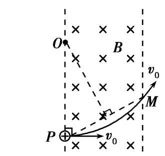
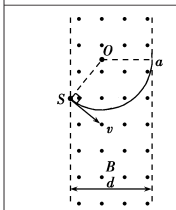
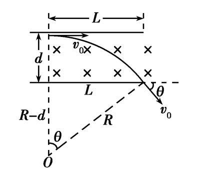
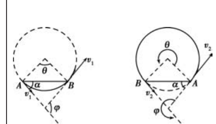
根据牛顿第三定律,电流对磁体的作用力向左上方,如图乙;根据平衡条件,可知通电后桌面对磁铁的支持力变小,磁铁受到的静摩擦力向右,磁铁对桌面的压力变小。故选 B、C。

答案　BC

考向三　磁场对运动电荷的作用

1.带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动

一般来说,要把握好"一找圆心,二定半径,三求时间"的分析方法。在具体问题中,要依据题目条件和情景而定,解题的理论依据主要是利用牛顿第二定律列式:$qvB=m\frac{v^2}{R}$求其轨迹半径。

	基本思路	图例	说明
圆心的确定	①与速度方向垂直的直线过圆心 ②弦的垂直平分线过圆心 ③轨迹圆弧与边界切点的法线过圆心		P、M 点速度垂线交点
			P 点速度垂线与弦的垂直平分线交点
			某点的速度垂线与切点法线的交点
半径的确定	利用平面几何知识求半径		常用解三角形法:例:(左图)$R=\frac{L}{\sin\theta}$或由 $R^2=L^2+(R-d)^2$ 求得 $R=\frac{L^2+d^2}{2d}$
运动时间的确定	利用轨迹对应圆心角 θ 或轨迹长度 L 求时间 ①$t=\frac{\theta}{2\pi}\cdot T$ ②$t=\frac{L}{v}$		(1)速度的偏转角 φ 等于 $\overset{\frown}{AB}$ 所对的圆心角 θ (2)偏转角 φ 与弦切角 α 的关系:$\varphi<180°$,$\varphi=2\alpha$;$\varphi>180°$,$\varphi=360°-2\alpha$

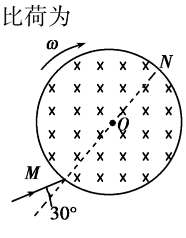
2.解带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动问题"三步法"

画轨迹 ⟶ 确定圆心

找联系:
①轨道半径与磁感应强度、运动速度相联系,即$r=\frac{mv}{qB}$。
②几何方法——一般由数学知识(勾股定理、三角函数等)来确定半径。
③偏转角度与圆心角、运动时间相联系。
④粒子在磁场中运动时间与周期相联系。

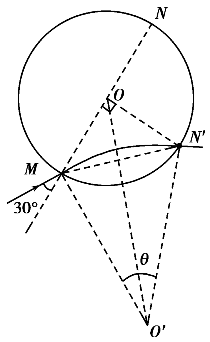
用规律:利用牛顿第二定律和圆周运动的规律等,特别是周期公式、半径公式。

例4　(2016 课标Ⅱ,18,6 分)一圆筒处于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中,磁场方向与筒的轴平行,筒的横截面如图所示。图中直径 MN 的两端分别开有小孔,筒绕其中心轴以角速度 ω 顺时针转动。在该截面内,一带电粒子从小孔 M 射入筒内,射入时的运动方向与 MN 成 30°角。当筒转过 90°时,该粒子恰好从小孔 N 飞出圆筒。不计重力。若粒子在筒内未与筒壁发生碰撞,则带电粒子的比荷为　(　　)



A. $\frac{\omega}{3B}$　　B. $\frac{\omega}{2B}$　　C. $\frac{\omega}{B}$　　D. $\frac{2\omega}{B}$

解析　定圆心、画轨迹,由几何关系可知,此段圆弧所对圆心角 $\theta=30°$,所需时间 $t=\frac{1}{12}T=\frac{\pi m}{6qB}$;由题意可知粒子由 M 飞至 N' 与圆筒旋转 $90°$ 所用时间相等,即 $t=\frac{\frac{\pi}{2}}{\omega}=\frac{\pi}{2\omega}$,联立以上两式得 $\frac{q}{m}=\frac{\omega}{3B}$,A 项正确。



答案　A

考点二　带电粒子在复合场中的运动

考向基础

一、复合场

1. 叠加场:电场、磁场、重力场共存,或其中某两种场共存。

2. 组合场:电场与磁场各位于一定的区域内,并不重叠或在同一区域,电场、磁场交替出现。

3. 电子、质子、α 粒子、离子等微观粒子在复合场中运动时,一般都不计重力,但质量较大的质点(如带电尘粒)在复合场中运动时,不能忽略重力。

二、三种场的比较

	力的特点	功和能的特点
重力场	大小:$G=mg$ 方向:竖直向下	重力做功与路径无关 重力做功改变物体的重力势能
静电场	大小:$F=qE$ 方向:正电荷受力方向与场强方向一致;负电荷受力方向与场强方向相反	电场力做功与路径无关 $W=qU$ 电场力做功改变电荷的电势能
磁场	洛伦兹力 $F=qvB(v\perp B)$ 方向遵循左手定则	洛伦兹力不做功,不改变带电粒子的速度大小

考向突破

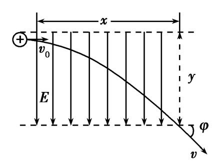
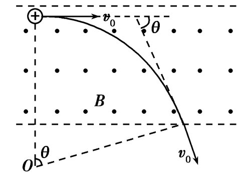
考向一　组合场

带电粒子在组合场中的运动

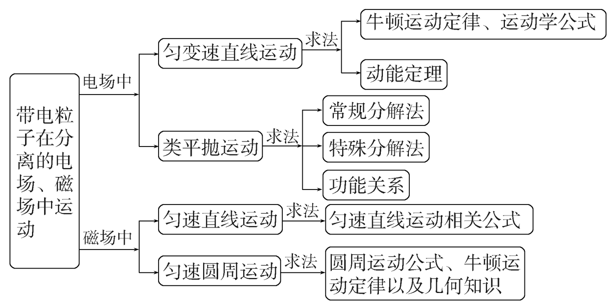
1. 带电粒子在匀强电场和匀强磁场中偏转的比较

	匀强电场中的偏转	匀强磁场中的偏转
偏转条件	带电粒子以速度 v_0 垂直射入匀强电场	带电粒子以速度 v_0 垂直射入匀强磁场
受力特征	只受恒定的电场力 $F=Eq$,方向与初速度方向垂直	只受大小恒定的洛伦兹力 $F=qv_0B$,方向始终与速度方向垂直

续表

	匀强电场中的偏转	匀强磁场中的偏转
运动性质	匀变速曲线(类平抛)运动	匀速圆周运动
轨迹	抛物线	圆或圆弧
运动轨迹图		
运动规律	$v_x=v_0$　$v_y=\frac{qE}{m}t$ $x=v_0t$　$y=\frac{qEt^2}{2m}$	$qv_0B=\frac{mv_0^2}{R}$ $R=\frac{mv_0}{qB}$　$T=\frac{2\pi m}{qB}$
动能变化	动能增大	动能不变
运动时间	$t=\frac{x}{v_0}$	$t=\frac{\theta}{2\pi}T=\frac{\theta m}{Bq}$

2. 思路方法图



3. 实例分析　回旋加速器

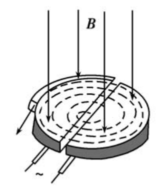
回旋加速器是利用带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的特点使带电粒子在磁场中改变运动方向,再利用加速电场对带电粒子做正功使带电粒子的动能增加。(交变电压的周期和粒子做匀速圆周运动的周期相等)

例 1　如图,回旋加速器两 D 形盒窄缝中心为质子源,D 形盒内接的交变电压为 $U=2\times10^4$ V,静止质子经电场加速后,进入 D 形盒,其最大轨道半径 $R=1$ m,磁场的磁感应强度为 $B=0.5$ T,问:

(1)质子最初进入 D 形盒的动能多大?

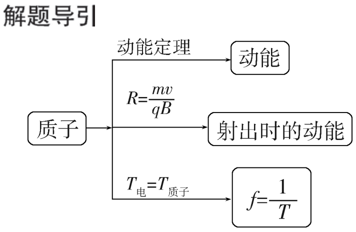
(2)质子经回旋加速器后得到的最大动能多大?

(3)交变电源的频率是多少?



回旋加速器的D形盒

解题导引



解析　(1)质子在电场中加速,根据动能定理得

$\frac{1}{2}qU=E_k-0$,则 $E_k=\frac{1}{2}qU=1\times10^4$ eV。

(2)质子在回旋加速器的磁场中,绕行的最大半径为 R,则

$qvB=\frac{mv^2}{R}$,解得 $v=\frac{qBR}{m}$

质子经回旋加速器获得的最大动能为

$E_k'=\frac{mv^2}{2}=\frac{(qBR)^2}{2m}=1.92\times10^{-12}$ J。

(3)$f=\frac{1}{T}=\frac{Bq}{2\pi m}=7.63\times10^{6}$ Hz。

答案 (1)1×10^{4} eV

(2)1.92×10^{-12} J

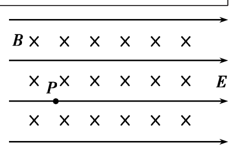
(3)7.63×10^{6} Hz

考向二 叠加场

1.带电粒子在叠加场中无约束情况下的运动分类

叠加类型		受力特征	带电体的运动特征
洛伦兹力	并存	洛伦兹力、重力平衡	一定做匀速直线运动
重力		洛伦兹力、重力不平衡	复杂的曲线运动,因洛伦兹力不做功,故机械能守恒,由此可求解问题
洛伦兹力	并存	洛伦兹力、电场力平衡	一定做匀速直线运动
电场力		洛伦兹力、电场力不平衡	复杂的曲线运动,因洛伦兹力不做功,可用动能定理求解问题
洛伦兹力	并存	三力平衡	一定做匀速直线运动
电场力		重力与电场力平衡	一定做匀速圆周运动
重力		合力不为零且与速度方向不垂直	复杂的曲线运动,因洛伦兹力不做功,可用动能定理求解问题

例2 (2016 天津理综,11,18 分)

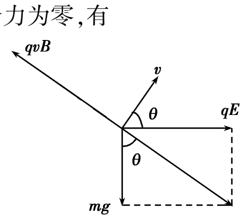


如图所示,空间中存在着水平向右的匀强电场,电场强度大小 $E=5\sqrt{3}$ N/C,同时存在着水平方向的匀强磁场,其方向与电场方向垂直,磁感应强度大小$B=0.5$ T。有一带正电的小球,质量$m=1\times10^{-6}$ kg,电荷量$q=2\times10^{-6}$ C,正以速度 v 在图示的竖直面内做匀速直线运动,当经过 P 点时撤掉磁场(不考虑磁场消失引起的电磁感应现象),取 $g=10$ m/s^2。求:

(1)小球做匀速直线运动的速度 v 的大小和方向;

(2)从撤掉磁场到小球再次穿过 P 点所在的这条电场线经历的时间 t。

解析 (1)小球匀速直线运动时受力如图,其所受的三个力在同一平面内,合力为零,有



$qvB=\sqrt{q^2E^2+m^2g^2}$ ①

代入数据解得

$v=20$ m/s ②

速度 v 的方向与电场 E 的方向之间的夹角 θ 满足

$\tan\theta=\frac{qE}{mg}$ ③

代入数据解得

$\tan\theta=\sqrt{3}$

$\theta=60°$ ④

(2)**解法一:**

撤去磁场,小球在重力与电场力的合力作用下做类平抛运动,设其加速度为 a,有

$a=\frac{\sqrt{q^2E^2+m^2g^2}}{m}$ ⑤

设撤掉磁场后小球在初速度方向上的分位移为 x,有

$x=vt$ ⑥

设小球在重力与电场力的合力方向上分位移为 y,有

$y=\frac{1}{2}at^2$ ⑦

a 与 mg 的夹角和 v 与 E 的夹角相同,均为 θ,又

$\tan\theta=\frac{y}{x}$ ⑧

联立④⑤⑥⑦⑧式,代入数据解得

$t=2\sqrt{3}$ s$=3.5$ s ⑨

解法二:

撤去磁场后,由于电场力垂直于竖直方向,它对竖直方向的分运动没有影响,以 P 点为坐标原点,竖直向上为正方向,小球在竖直方向上做匀减速运动,其初速度为

$v_y=v\sin\theta$ ⑤

若使小球再次穿过 P 点所在的电场线,仅需小球的竖直方向上分位移为零,则有

$v_yt-\frac{1}{2}gt^2=0$ ⑥

联立⑤⑥式,代入数据解得

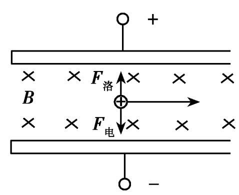
$t=2\sqrt{3}$ s$=3.5$ s ⑦

答案 (1)见解析 (2)3.5 s

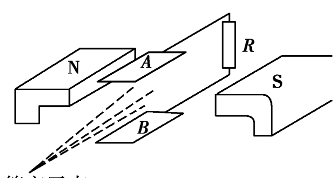
2.利用 $qE=qvB$ 分析带电粒子在叠加场中的应用实例

(1)速度选择器

如图所示,当带正电粒子从左侧平行于极板射入时,带电粒子同时受到电场力 $F_电$ 和洛伦兹力 $F_洛$ 作用,当两者等大反向时,粒子不偏转而是沿直线做匀速运动,$qE=qvB$,所以粒子以$v=\frac{E}{B}$的速度沿垂直于磁场和电场的方向射入正交的电场、磁场中就不发生偏转。速度选择器只选择某一特定速度的粒子,与粒子的电性、电荷量、质量无关(不计重力)。



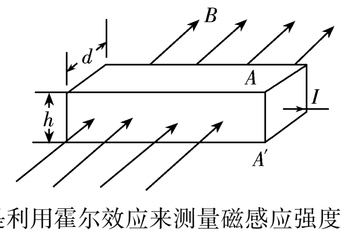
(2)磁流体发电机(如图所示)



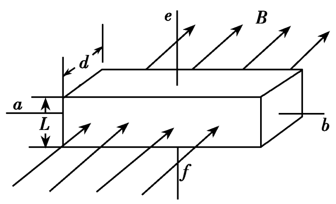
磁流体发电机的原理是:等离子气体喷入磁场,正、负离子在洛伦兹力的作用下发生上下偏转而聚集到 A、B 板上,产生电势差,设 A、B 平行金属板的面积为 S,相距为 L,等离子体的电阻率为 ρ,喷入气体速度为 v,板间磁场的磁感应强度为 B,板外电阻为 R,当等离子气体匀速通过 A、B 板间时,A、B 板上聚集的电荷最多,板间电势差最大,即电源电动势,此时离子受力平衡,$E_场q=qvB$,$E_场=vB$,电动势 $E=E_场L=BLv$,电源内电阻 $r=\rho\frac{L}{S}$,所以 R 中电流 $I=\frac{E}{R+r}=\frac{BLv}{R+\rho\frac{L}{S}}=\frac{BLvS}{RS+\rho L}$。

(3)霍尔效应

①如图,厚度为 h,宽度为 d 的导体板放在垂直于它的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,当电流通过导体板时,在导体板的上侧面 A 和下侧面 A'之间会产生电势差,这种现象称为霍尔效应,实验表明,当磁场不太强时,电势差 U、电流 I 和 B 的关系为 $U=k\dfrac{IB}{d}$,式中的比例系数 k 称为霍尔系数。霍尔效应可解释为外部磁场使运动的电子受洛伦兹力聚集在导体板的一侧,在导体板的另一侧会出现正电荷,从而形成电场,电场对电子施加与洛伦兹力方向相反的静电力,当静电力与洛伦兹力达到平衡时,导体板上下两侧之间会形成稳定的电势差。



②磁强计是利用霍尔效应来测量磁感应强度 B 的仪器。其原理可解释为:如图所示,一块导体接上 a、b、e、f 四个电极,将导体放在匀强磁场之中,a、b 间通以电流 I,e、f 间就会出现电势差,只要测出 e、f 间的电势差 U,就可测得 B。



设 e、f 间电势差已达稳定,则 $U=EL$。

此时导电的自由电荷受到的电场力与洛伦兹力相平衡

$Bqv=Eq$,式中 v 为自由电荷的定向移动速度。由此可知,

$B=\dfrac{E}{v}=\dfrac{U}{Lv}$

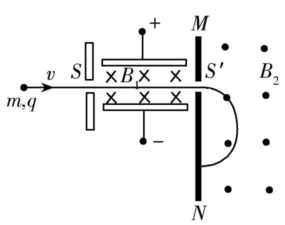
设导体中单位体积内的自由电荷数为 n,则电流 $I=nqSv$,

式中 S 为导体横截面积,$S=Ld$,

因此 $v=\dfrac{I}{nqLd}$,得 $B=\dfrac{nqdU}{I}$

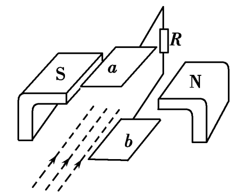
由此可知 $B\propto U$。这样只要将装置先在已知磁场中定出标度,就可通过测定 U 来确定 B 的大小了。

(4)质谱仪(如图所示)



质谱仪是先经过速度选择器对带电粒子进行速度选择后,再由右侧的偏转磁场把不同比荷的粒子分开,由此可以用来测定带电粒子的比荷和分析同位素。

例3 如图是磁流体发电机的装置,a、b 组成一对平行电极,两板间距为 d,板平面的面积为 S,内有磁感应强度为 B 的匀强磁场。现持续将一束等离子体(即高温下电离的气体,含有大量带正电和负电的微粒,而整体呈中性),垂直磁场喷入,每个离子的速度为 v,负载电阻阻值为 R,当发电机稳定发电时,负载中电流为 I,则 ( )



等离子体

A.a 板电势比 b 板电势低

B.磁流体发电机的电动势 $E=Bdv$

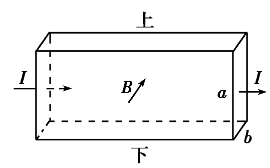
C.负载电阻两端的电压大小为 Bdv

D.两板间等离子体的电阻率 $\rho=\dfrac{(Bdv-IR)S}{Id}$

解析 参看磁流体发电机的装置图,利用左手定则可知,正、负微粒通过发电机内部时,带正电微粒向上偏,带负电微粒向下偏,则知 a 板电势比 b 板电势高,所以 A 错误;当发电机稳定发电时,对微粒有 $F_{洛}=F_{电}$,即 $Bqv=\dfrac{E}{d}q$,得电动势 $E=Bdv$,所以 B 正确;由闭合电路欧姆定律有 $U_R+U_r=E$,又 $E=Bdv$,则负载电阻两端的电压 $U_R<Bdv$,所以 C 错误;由闭合电路欧姆定律有 $I=\dfrac{E}{r+R}$,由电阻定律有 $r=\rho\dfrac{d}{S}$,得 $\rho=\dfrac{(Bdv-IR)S}{Id}$,所以 D 正确。

答案 BD

例4 如图所示,一段长方体导电材料,左右两端面的长和宽都分别为 a 和 b,内有带电荷量为 q 的某种自由运动电荷。导电材料置于方向垂直于其前表面向里的匀强磁场中,内部磁感应强度大小为 B。当通以从左到右的稳恒电流 I 时,测得导电材料上、下表面之间的电压为 U,且上表面的电势比下表面的低。由此可得该导电材料单位体积内自由运动电荷数及自由运动电荷的正负分别为 ( )



A.$\dfrac{IB}{|q|aU}$,负 B.$\dfrac{IB}{|q|aU}$,正

C.$\dfrac{IB}{|q|bU}$,负 D.$\dfrac{IB}{|q|bU}$,正

解析 因导电材料上表面的电势比下表面的低,故上表面带负电荷,根据左手定则可判断自由运动电荷带负电,则 B、D 两项均错。设长方体材料长度为 L,总电荷量为 Q,则其单位体积内自由运动电荷数为$\dfrac{Q}{|q|ab\cdot L}$,当电流 I 稳恒时,材料内的电荷所受电场力与磁场力相互平衡,则有$\dfrac{UQ}{a}=BIL$,故$\dfrac{Q}{|q|ab\cdot L}=\dfrac{BI}{|q|bU}$,A 项错误,C 项正确。

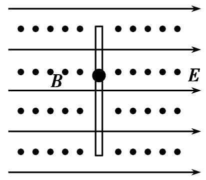
答案 C

3.带电粒子在叠加场中有约束情况下的运动

带电体在叠加场中受轻杆、轻绳、圆环、轨道等约束的情况下,除受到场力外,还受到弹力、摩擦力作用。常见的运动形式有直线运动和圆周运动,此时解题要通过受力分析明确变力、恒力做功情况,并注意洛伦兹力不做功,运用动能定理、能量守恒结合牛顿运动定律求出结果。

例5 如图所示,套在足够长的绝缘粗糙直棒上的带正电小球,其质量为 m,带电荷量为 q,小球可在棒上滑动,现将此棒竖直放入沿水平方向且互相垂直的匀强磁场和匀强电场中。设小

球电荷量不变，小球由静止开始下滑的过程中 （ ）



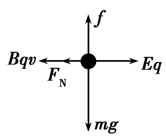
A.小球加速度一直增大

B.小球速度一直增大，直到最后匀速

C.棒对小球的弹力先减小后反向增大

D.小球所受洛伦兹力一直增大

解析 小球刚开始下滑时，受力如图所示，水平方向上：$Eq=F_N+Bqv$ ①



竖直方向上：$mg-f=mg-\mu F_N=ma$ ②

联立①②式得：$a=g+\frac{\mu q}{m}(Bv-E)$

当 $Bqv>Eq$ 时，小球所受棒的弹力 F_N' 为水平向右，水平方向上：$Bqv=F_N'+Eq$ ③

此时竖直方向上有 $mg-f=mg-\mu F_N'=ma$ ④

联立③④式得：$a=g+\frac{\mu q}{m}(E-Bv)$

由以上分析可知，小球先做加速度逐渐增大的变加速运动，后做加速度逐渐减小的变加速运动，直至匀速，所以 A 错，B、C 均正确。小球匀速运动时所受洛伦兹力不变，故 D 错。

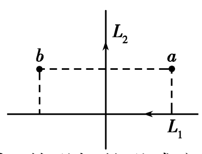
答案 BC

考点集训

对应学生用书起始页码 117

考点一 磁场及其作用

1.（2018 课标Ⅱ，20，6 分）（多选）如图，纸面内有两条互相垂直的长直绝缘导线 L_1、L_2，L_1 中的电流方向向左，L_2 中的电流方向向上；L_1 的正上方有 a、b 两点，它们相对于 L_2 对称。整个系统处于匀强外磁场中，外磁场的磁感应强度大小为 B_0，方向垂直于纸面向外。已知 a、b 两点的磁感应强度大小分别为 $\frac{1}{3}B_0$ 和 $\frac{1}{2}B_0$，方向也垂直于纸面向外。则 （ ）



A.流经 L_1 的电流在 b 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{7}{12}B_0$

B.流经 L_1 的电流在 a 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{1}{12}B_0$

C.流经 L_2 的电流在 b 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{1}{12}B_0$

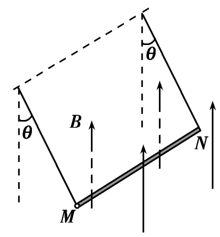
D.流经 L_2 的电流在 a 点产生的磁感应强度大小为 $\frac{7}{12}B_0$

答案 AC 本题考查安培定则、磁场的叠加。由安培定则判定，L_1 中的电流在 a、b 两点产生的磁场方向垂直纸面向里，L_2 中的电流在 a、b 两点产生的磁场方向分别垂直于纸面向里和向外；设 L_1 和 L_2 中的电流在 a、b 两点产生的磁场的磁感应强度大小分别为 B_1 和 B_2，由磁感应强度的矢量叠加原理可得，$B_0-B_1-B_2=\frac{1}{3}B_0$，$B_0+B_2-B_1=\frac{1}{2}B_0$，解得 $B_1=\frac{7}{12}B_0$，$B_2=\frac{1}{12}B_0$，故A、C项正确。

解题关键 注意矢量的方向性

本题解题的关键是要注意磁感应强度的方向性，如 L_2 中电流产生的磁场方向在 a 点垂直纸面向里，在 b 点垂直纸面向外。

2.（2020 届内蒙古包头联考，6）如图所示，金属棒 MN 两端由等长的轻质细线水平悬挂，处于竖直向上的匀强磁场中，棒中通以由 M 向 N 的电流，平衡时两悬线与竖直方向夹角均为 θ。如果仅改变下列某一个条件，θ 角的相应变化情况是 （ ）



A.棒中的电流变大，θ 角变大

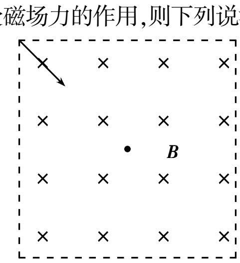
B.两悬线等长变短，θ 角变小

C.金属棒质量变大，θ 角变大

D.磁感应强度变大，θ 角变小

答案 A 由平衡条件可知 $F_安=mg\tan\theta$，而 $F_安=BIL$，即 $\tan\theta=\frac{BIL}{mg}$，则$I\uparrow\Rightarrow\theta\uparrow$，$m\uparrow\Rightarrow\theta\downarrow$，$B\uparrow\Rightarrow\theta\uparrow$，故 A 正确，C、D 错误。$\theta$ 角与悬线长度无关，B 错误。

3.（2019 山西运城一模，4）如图所示正方形区域内，有垂直于纸面向里的匀强磁场，一束质量和电荷量都相同的带正电粒子，以不同的速率对准正方形区域的中心射入匀强磁场，又都从该磁场中射出，若带电粒子只受磁场力的作用，则下列说法正确的是 （ ）



A.这些粒子在磁场中运动的时间都相等

B.在磁场中运动时间越短的粒子，其速率越小

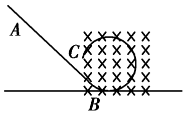
C.在磁场中运动时间越短的粒子，其轨道半径越大

D.在磁场中运动时间越短的粒子，其通过的路程越小

答案 C 由周期公式得 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，由于带电粒子 q、m 均相同，所以 T 相同，根据 $t=\frac{\theta}{2\pi}T$ 可知，在磁场中运动时间越短的带电粒子，圆心角越小，半径越大，由 $r=\frac{mv}{qB}$ 知速率一定越大，故 A、B 错误，C 正确；经过的路程即弧长 $s=\theta r$，由于圆心角越小，半径越大，所以路程不一定小，D 错误。

考点二 带电粒子在复合场中的运动

1.(多选)如图所示,ABC 为竖直平面内的光滑绝缘轨道,其中 AB 为倾斜直轨道,BC 为与 AB 相切的圆形轨道,并且圆形轨道处在匀强磁场中,磁场方向垂直纸面向里。质量相同的甲、乙、丙三个小球中,甲球带正电、乙球带负电、丙球不带电。现将三个小球在轨道 AB 上分别从不同高度处由静止释放,都恰好通过圆形轨道的最高点,则 ( )



A.经过最高点时,三个小球的速度相等

B.经过最高点时,甲球的速度最小

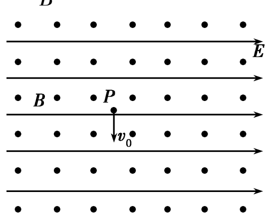
C.甲球的释放位置比乙球的高

D.运动过程中三个小球的机械能均保持不变

答案 CD 本题考查带电粒子在磁场和重力场作用下运动。

设磁感应强度为 B,圆形轨道半径为 r,三个小球质量均为 m,它们恰好通过最高点时的速度分别为 $v_甲$、$v_乙$ 和 $v_丙$,则 $mg+Bv_甲q=\frac{mv_甲^2}{r}$,$mg-Bv_乙q=\frac{mv_乙^2}{r}$,$mg=\frac{mv_丙^2}{r}$,显然,$v_甲>v_丙>v_乙$,选项A、B错误;三个小球在运动过程中,只有重力做功,即它们的机械能守恒,选项D正确;甲球在最高点处的动能最大,因为重力势能相等,所以甲球的机械能最大,甲球的释放位置最高,选项C正确。

2.(2019广西南宁、梧州等八市调研,21)(多选)如图所示为正交的匀强电场和匀强磁场,电场方向水平向右,场强大小为 E,磁场方向垂直于纸面水平向外,磁感应强度大小为 B。一个电荷量为 q,质量为 $m=\frac{qE}{g}$(g 为重力加速度)的带正电粒子在场中 P 点以大小为 $v_0=\frac{E}{B}$ 的初速度竖直向下射出,则 ( )



A.粒子将向下做匀加速直线运动

B.若粒子以大小为 $v_0=\frac{E}{B}$ 的初速度竖直向上射出,射出的一瞬间,加速度大小为 $\sqrt{5}g$

C.改变粒子射出的速度大小和方向,则粒子可以做匀变速直线运动

D.改变粒子射出的速度大小和方向,粒子可在场中做直线运动,且射出的初速度大小为 $v=\frac{\sqrt{2}E}{B}$

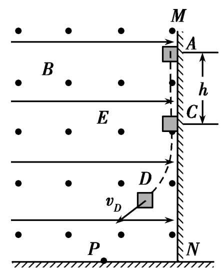
答案 BD 粒子向下射出的一瞬间,电场力与洛伦兹力等大反向,随着速度增大,洛伦兹力逐渐增大,粒子会向左偏转,不可能做直线运动,A项错误;如果以大小为 $\frac{E}{B}$ 的初速度向上射出,射出的一瞬间,受到的合力为 $\sqrt{(mg)^2+(2mg)^2}=\sqrt{5}mg$,根据牛顿第二定律,加速度大小为 $a=\frac{F}{m}=\sqrt{5}g$,B项正确;改变粒子射出的速度方向,且粒子在场中做直线运动,则洛伦兹力与电场力和重力的合力等大反向,则 $qvB=\sqrt{2}mg$,$v=\frac{\sqrt{2}E}{B}$,D项正确;如果做直线运动时速度大小变化,则洛伦兹力大小变化,合力方向变化,则粒子会做曲线运动,因此做直线运动时,一定做的是匀速直线运动,C项错误。

3.(2015福建理综,22,20分)如图,绝缘粗糙的竖直平面 MN 左侧同时存在相互垂直的匀强电场和匀强磁场,电场方向水平向右,电场强度大小为 E,磁场方向垂直纸面向外,磁感应强度大小为 B。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电的小滑块从 A 点由静止开始沿 MN 下滑,到达 C 点时离开 MN 做曲线运动。A、C 两点间距离为 h,重力加速度为 g。

(1)求小滑块运动到 C 点时的速度大小 v_C;

(2)求小滑块从 A 点运动到 C 点过程中克服摩擦力做的功 W_f;

(3)若 D 点为小滑块在电场力、洛伦兹力及重力作用下运动过程中速度最大的位置,当小滑块运动到 D 点时撤去磁场,此后小滑块继续运动到水平地面上的 P 点。已知小滑块在 D 点时的速度大小为 v_D,从 D 点运动到 P 点的时间为 t,求小滑块运动到 P 点时速度的大小 v_P。



答案 (1)$\frac{E}{B}$ (2)$mgh-\frac{mE^2}{2B^2}$ (3)$\sqrt{v_D^2+\left[\left(\frac{qE}{m}\right)^2+g^2\right]t^2}$

解析 (1)小滑块沿 MN 运动过程,水平方向受力满足

$qvB+N=qE$ ①

小滑块在 C 点离开 MN 时

$N=0$ ②

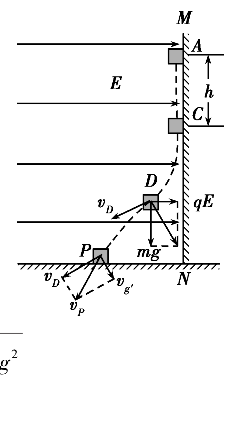
解得 $v_C=\frac{E}{B}$ ③

(2)由动能定理

$mgh-W_f=\frac{1}{2}mv_C^2-0$ ④

解得 $W_f=mgh-\frac{mE^2}{2B^2}$ ⑤

(3)如图,小滑块速度最大时,速度方向与电场力、重力的合力方向垂直。撤去磁场后小滑块将做类平抛运动,等效加速度为 g'



$g'=\sqrt{\left(\frac{qE}{m}\right)^2+g^2}$ ⑥

且 $v_P^2=v_D^2+g'^2t^2$ ⑦

解得 $v_P=\sqrt{v_D^2+\left[\left(\frac{qE}{m}\right)^2+g^2\right]t^2}$ ⑧

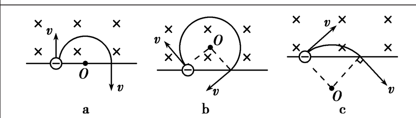
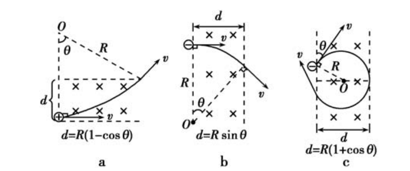
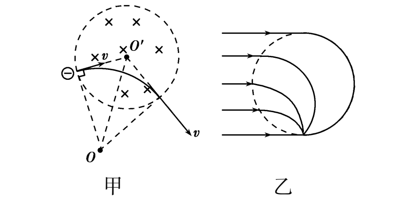
炼技法 提能力　方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧

对应学生用书起始页码 118

方法 1　有界磁场的处理方法

1.典型有界磁场的介绍

种类	图形	特点
直线边界		进出磁场具有对称性
平行边界		存在临界条件
圆形边界		①沿径向射入必沿径向射出，如图甲 ②乙图为磁聚焦现象

2.两种有效处理方法

(1)放缩圆法

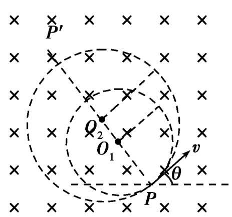
①适用条件

a.速度方向一定,大小不同

粒子源发射速度方向一定,大小不同的带电粒子进入匀强磁场时,这些带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径随速度的变化而变化。

b.轨迹圆圆心共线

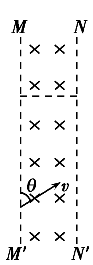
如图所示(图中只画出粒子带正电的情景),速度 v 越大,运动半径也越大。可以发现这些带电粒子射入磁场后,它们运动轨迹的圆心在垂直初速度方向的直线 PP' 上。



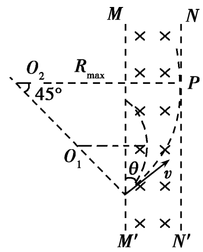
②界定方法

以入射点 P 为定点,圆心位于 PP' 直线上,将半径放缩作轨迹,从而探索出临界条件,这种方法称为“放缩圆法”。

例 1　如图所示,宽度为 d 的匀强有界磁场,磁感应强度为 B,MM' 和 NN' 是磁场左右的两条边界线。现有一质量为 m、电荷量为 q 的带电粒子沿图示方向垂直射入磁场中,$\theta=45°$。要使粒子不能从右边界 NN' 射出,求粒子入射速率的最大值为多少?



解析　用“放缩圆法”作出带电粒子运动的轨迹如图所示,当其运动轨迹与 NN' 边界线相切于 P 点时,这就是具有最大入射速率 v_{max} 的粒子的轨迹。由图可知:$R_{max}(1-\cos 45°)=d$,又 $Bqv_{max}=m\dfrac{v_{max}^2}{R_{max}}$,联立可得 $v_{max}=\dfrac{(2+\sqrt{2})Bqd}{m}$。



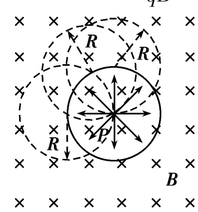
答案　$\dfrac{(2+\sqrt{2})Bqd}{m}$

(2)平移圆法

①适用条件

a.速度大小一定,方向不同

粒子源发射速度大小一定、方向不同的带电粒子进入匀强磁场时,它们在磁场中做匀速圆周运动的半径相同,若射入初速度大小为 v_0,则圆周运动半径为 $R=\dfrac{mv_0}{qB}$。如图所示。



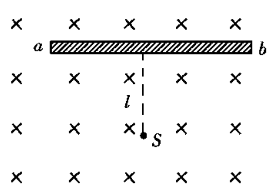
b.轨迹圆圆心共圆

带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心在以入射点 P 为圆心、半径 $R=\dfrac{mv_0}{qB}$的圆(这个圆在下面的叙述中称为“轨迹圆心圆”)上。

②界定方法

将一半径为 $R=\dfrac{mv_0}{qB}$的圆沿着“轨迹圆心圆”平移,从而探索出临界条件,这种方法称为“平移圆法”。

例 2　如图,真空室内存在匀强磁场,磁场方向垂直于纸面向里,磁感应强度的大小 $B=0.60$ T。磁场内有一块平面感光板 ab,板面与磁场方向平行。在距 ab 为 $l=16$ cm 处,有一个点状的 α 粒子放射源 S,它向各个方向发射 α 粒子,α 粒子的速率都是 $v=3.0\times10^6$ m/s。已知 α 粒子的电荷量与质量之比 $\dfrac{q}{m}=5.0\times10^7$ C/kg。现只考虑在纸面内运动的 α 粒子,求 ab 板上被 α 粒子打中区域的长度。



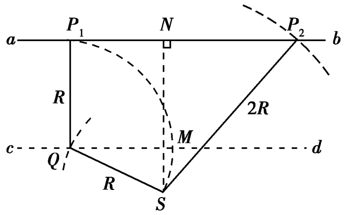
解析　α 粒子带正电,故在磁场中沿逆时针方向做匀速圆周运动。用 R 表示轨迹半径,有 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$,

由此得 $R=\dfrac{mv}{qB}$,

代入数值得 $R=10$ cm,可见 $2R>l>R$。

因朝不同方向发射的 α 粒子的圆轨迹都过 S,由此可知,某

一圆轨迹在图中 N 左侧与 ab 相切,则此切点 P_1 就是 α 粒子能打中的左侧最远点。为确定 P_1 点的位置,可作平行于 ab 的直线 cd,cd 到 ab 的距离为 R,以 S 为圆心,R 为半径,作圆弧交 cd 于 Q 点,过 Q 作 ab 的垂线,它与 ab 的交点即为 P_1。即:$NP_1=\sqrt{R^2-(l-R)^2}$。



再考虑 N 的右侧。任何 α 粒子在运动中离 S 的距离不可能超过 $2R$,以 $2R$ 为半径、S 为圆心作圆弧,交 ab 于 N 右侧的 P_2 点,此即右侧能打到的最远点。

由图中几何关系得

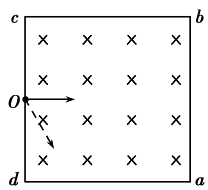
$NP_2=\sqrt{(2R)^2-l^2}$,

所求长度为 $P_1P_2=NP_1+NP_2$,

代入数值得 $P_1P_2=20$ cm。

答案 20 cm

例 3 如图所示,垂直于纸面向里的匀强磁场分布在正方形 $abcd$ 区域内,O 点是 cd 边的中点。一个带正电的粒子仅在磁场力的作用下,从 O 点沿纸面以垂直于 cd 边的速度射入正方形区域内,经过时间 t_0 后刚好从 c 点射出磁场。现设法使该带电粒子从 O 点沿纸面以与 Od 成 30°角的方向、以大小不同的速率射入正方形区域内,那么下列说法中正确的是 ( )



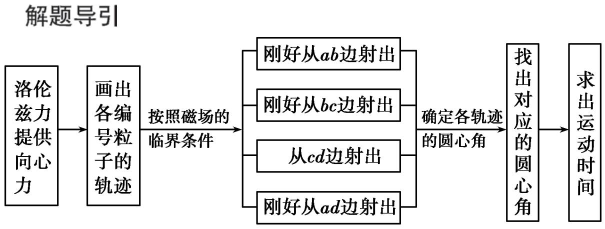
A.若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{3}t_0$,则它一定从 cd 边射出磁场

B.若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{2}{3}t_0$,则它一定从 ad 边射出磁场

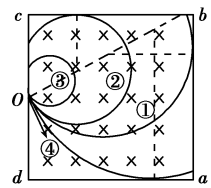
C.若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{4}t_0$,则它一定从 bc 边射出磁场

D.若该带电粒子在磁场中经历的时间是 t_0,则它一定从 ab 边射出磁场

解题导引



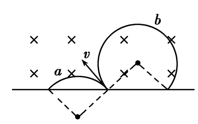
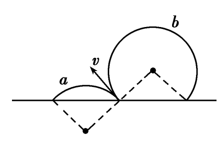
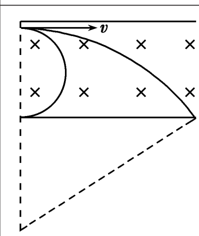
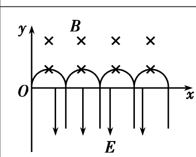
解析 带电粒子以垂直于 cd 边的速度射入正方形区域内,经过时间 t_0 刚好从 c 点射出磁场,则知带电粒子的运动周期为 $T=2t_0$。若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{3}t_0=\frac{5}{6}T$,则粒子运动的轨迹所对的圆心角为 $\theta=\frac{5}{6}\cdot 2\pi=\frac{5}{3}\pi$,速度的偏向角也为 $\frac{5}{3}\pi$,根据几何知识可知,粒子必定从 cd 边射出磁场,射出磁场时与磁场边界的夹角为 30°,故 A 正确。当带电粒子运动的轨迹与 ad 边相切时,轨迹所对的圆心角为 60°,粒子运动的时间为 $t=\frac{1}{6}T=\frac{1}{3}t_0$,所有从 ad 边射出的粒子中运动的最长时间为 $\frac{1}{3}t_0$,故若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{2}{3}t_0$,一定不是从 ad 边射出磁场,B 错误。若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{4}t_0=\frac{5}{8}T$,则在磁场中运动的轨迹所对的圆心角为 $\frac{5}{4}\pi$,由于 $\frac{4}{3}\pi>\frac{5}{4}\pi>\frac{5}{6}\pi$,则一定从 bc 边射出磁场,故 C 正确。若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $t_0=\frac{1}{2}T$,则在磁场中运动的轨迹所对的圆心角为 π,而粒子从 ab 边射出磁场时速度的最大偏向角等于 $60°+90°=150°=\frac{5}{6}\pi<\pi$,故一定不从 ab 边射出磁场,D 错误。



答案 AC

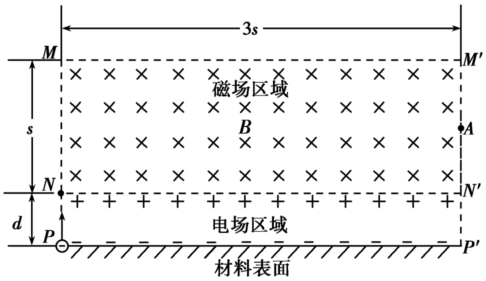
方法 2 带电粒子在磁场中运动的多解问题的分析

带电粒子在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动,由于多种因素的影响,使问题形成多解。

类型	分析	图例
带电粒子电性不确定	受洛伦兹力作用的带电粒子,可能带正电荷,也可能带负电荷,在相同的初速度下,正、负粒子在磁场中运动轨迹不同,形成多解 如图,带电粒子以速度 v 垂直进入匀强磁场;如带正电,其轨迹为 a;如带负电,其轨迹为 b	
磁场方向不确定	只知道磁感应强度大小,而未具体指出磁感应强度方向,此时必须要考虑磁感应强度方向不确定而形成的多解 如图带正电粒子以速度 v 垂直进入匀强磁场,若 B 垂直纸面向里,其轨迹为 a,若 B 垂直纸面向外,其轨迹为 b	
临界状态不唯一	带电粒子在洛伦兹力作用下飞越有界磁场时,由于粒子运动轨迹是圆弧状,因此,它可能穿过去了,也可能转过 180°从入射界面这边反向飞出,于是形成多解	
运动具有周期性	带电粒子在部分是电场,部分是磁场空间运动时,往往运动具有周期性,因而形成多解	

例 4 某仪器用电场和磁场来控制电子在材料表面上方的运动。如图所示,材料表面上方矩形区域 $PP'N'N$ 充满竖直向下

的匀强电场，宽为 d；矩形区域 $NN'M'M$ 充满垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B，长为 $3s$，宽为 s；NN' 为磁场与电场之间的薄隔离层。一个电荷量为 e、质量为 m、初速为零的电子，从 P 点开始被电场加速经隔离层垂直进入磁场，电子每次穿越隔离层，运动方向不变，其动能损失是每次穿越前动能的 10%，最后电子仅能从磁场边界 $M'N'$ 飞出，不计电子所受重力。

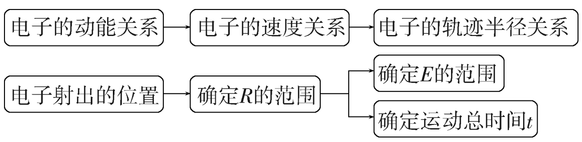


(1)求电子第二次与第一次圆周运动半径之比；

(2)求电场强度的取值范围；

(3)A 是 $M'N'$ 的中点，若要使电子在 A、M' 间垂直于 AM' 飞出，求电子在磁场区域中运动的时间。

解题导引



解析　(1)设圆周运动的半径分别为 R_1、$R_2\cdots R_n$、$R_{n+1}\cdots$，第一和第二次圆周运动速率分别为 v_1 和 v_2，动能分别为 E_{k1} 和 E_{k2}。

由：$E_{k2}=0.81E_{k1}$，$R_1=\dfrac{mv_1}{Be}$，$R_2=\dfrac{mv_2}{Be}$，$E_{k1}=\dfrac{1}{2}mv_1^2$，$E_{k2}=\dfrac{1}{2}mv_2^2$

得：$R_2:R_1=0.9$

(2)设电场强度为 E，第一次到达隔离层时的速率为 v'。

由：$eEd=\dfrac{1}{2}mv'^2$，$0.9\times\dfrac{1}{2}mv'^2=\dfrac{1}{2}mv_1^2$，$R_1\leqslant s$

得：$E\leqslant\dfrac{5B^2es^2}{9md}$

又由：$R_n=0.9^{n-1}R_1$，$2R_1(1+0.9+0.9^2+\cdots+0.9^n+\cdots)>3s$

得：$E>\dfrac{B^2es^2}{80md}$

$\dfrac{B^2es^2}{80md}<E\leqslant\dfrac{5B^2es^2}{9md}$

(3)设电子在匀强磁场中做圆周运动的周期为 T，运动的半圆周个数为 n，运动总时间为 t。

由题意，有：$\dfrac{2R_1(1-0.9^n)}{1-0.9}+R_{n+1}=3s$，$R_1\leqslant s$，$R_{n+1}=0.9^nR_1$，$R_{n+1}\geqslant\dfrac{s}{2}$

得：$n=2$

又由：$T=\dfrac{2\pi m}{eB}$

得：$t=\dfrac{5\pi m}{2eB}$

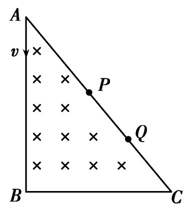
答案　(1)0.9　(2)$\dfrac{B^2es^2}{80md}<E\leqslant\dfrac{5B^2es^2}{9md}$　(3)$\dfrac{5\pi m}{2eB}$

方法集训

对应学生用书起始页码 121

方法 1　有界磁场的处理方法

1.(2020 届内蒙古奋斗中学模拟，16)(多选)如图所示，直角三角形 ABC 区域中存在一匀强磁场，比荷相同的两个粒子(不计重力)沿 AB 方向射入磁场，分别从 AC 边上的 P、Q 两点射出，则　(　　)



A.从 P 点射出的粒子速度大

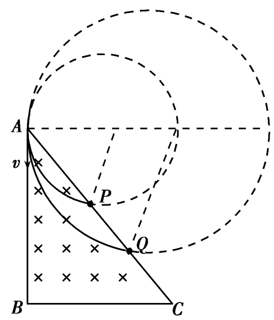
B.从 Q 点射出的粒子向心加速度大

C.从 P 点射出的粒子角速度大

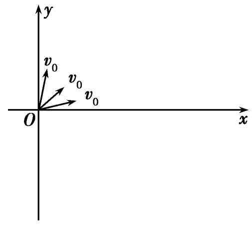
D.两个粒子在磁场中运动的时间一样长

答案　BD　本题考查了带电粒子在有界磁场中的运动，体现了科学思维中的科学推理要素。

粒子的运动轨迹如图所示，粒子在磁场中做圆周运动，分别从 P 点和 Q 点射出，洛伦兹力提供向心力，$qvB=m\dfrac{v^2}{r}$，轨迹半径 $r=\dfrac{mv}{qB}$，两粒子比荷相等，$r_P<r_Q$，所以 $v_P<v_Q$，故 A 错误；向心加速度 $a=\dfrac{v^2}{r}=\dfrac{qvB}{m}$，$v_P<v_Q$，所以 $a_P<a_Q$，故 B 正确；粒子在磁场中做圆周运动的周期 $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\dfrac{2\pi m}{qB}$，角速度 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{qB}{m}$，两粒子比荷相等，所以周期相等、角速度相等，故 C 错误；根据几何关系可知，粒子在磁场中偏转的圆心角相等，粒子在磁场中运动的时间 $t=\dfrac{\theta}{2\pi}T=\dfrac{\theta m}{qB}$，所以粒子在磁场中运动的时间相等，故 D 正确。



2.如图所示，在 xOy 平面内，有大量电子从坐标原点 O 不断以大小为 v_0 的速度沿不同的方向射入第一象限，也有部分电子沿 x 轴正方向和 y 轴正方向射入坐标系。现在坐标系内加上一个垂直于 xOy 平面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，要求进入该磁场的电子穿过该磁场后都能平行于 y 轴向 y 轴负方向运动。已知电子的质量为 m、电荷量为 e。(不考虑电子间的相互作用力和电子的重力，要求电子离开 O 点瞬间就进入磁场)



(1)求电子在磁场中做圆周运动的轨道半径 R；

(2)通过分析，在图中画出符合条件的磁场的最小范围(用阴影表示)；

(3)求该磁场的最小面积 S。

答案　(1)$\dfrac{mv_0}{eB}$　(2)见解析　(3)$\dfrac{(2+\pi)m^2v_0^2}{2e^2B^2}$

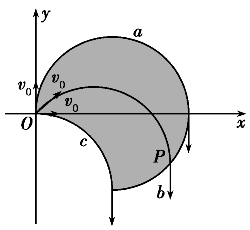
解析 (1)电子在匀强磁场中做匀速圆周运动,由 $ev_0B=m\frac{v_0^2}{R}$,解得 $R=\frac{mv_0}{eB}$

(2)当电子沿 y 轴正方向入射时,电子的运动轨迹构成磁场的最小范围对应的上边界 a,对应表达式为 $(x-R)^2+y^2=R^2$ $(0\leqslant x\leqslant 2R,0\leqslant y\leqslant R)$

当电子与 x 轴成 $\alpha(0<\alpha<90°)$ 角入射时电子从 P 点射出磁场,则出射点的坐标满足表达式 $(x-R)^2+y^2=R^2(R<x<2R,-R<y<0)$,对应磁场的右下边界 b

当电子沿 x 轴正方向入射时,电子的运动轨迹构成磁场左下边界 c,对应表达式为 $x^2+(y+R)^2=R^2(0\leqslant x\leqslant R,-R\leqslant y\leqslant 0)$

由 a、b、c 三边界所包围的区域就是磁场的最小范围,如图所示



(3)图中阴影部分可以看做由三部分组成,x 轴上方部分为一半径为 R 的半圆,其面积为 $S_1=\frac{\pi R^2}{2}$

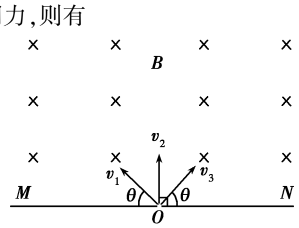
x 轴下方右边部分为一半径为 R 的四分之一圆,其面积为 $S_2=\frac{\pi R^2}{4}$

x 轴下方左边部分为一边长为 R 的正方形减去半径为 R 的四分之一圆,其面积为 $S_3=R^2-\frac{\pi R^2}{4}$

故最小面积 $S=S_1+S_2+S_3=\frac{\pi R^2}{2}+\frac{\pi R^2}{4}+R^2-\frac{\pi R^2}{4}=\frac{2+\pi}{2}R^2=\frac{(2+\pi)m^2v_0^2}{2e^2B^2}$

方法2 带电粒子在磁场中运动的多解问题的分析

1.在真空室中,有垂直于纸面向里的匀强磁场,三个质子 1、2 和 3 分别以大小相等、方向如图所示的初速度 v_1、v_2 和 v_3 经过平板 MN 上的小孔 O 射入匀强磁场,这三个质子打到平板 MN 上的位置到小孔 O 的距离分别是 s_1、s_2 和 s_3,不计质子重力和质子间的相互作用力,则有 ( )

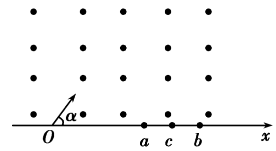


A.$s_1>s_2>s_3$　　B.$s_1<s_2<s_3$

C.$s_1=s_3>s_2$　　D.$s_1=s_3<s_2$

答案 D 由已知条件及 $R=\frac{mv}{qB}$ 可知三个质子运动轨迹的半径相等。由于初速度 v_1 和 v_3 的方向与 MN 的夹角相等,所以这两个质子的运动轨迹正好能组合成一个完整的圆,则这两个质子打到平板 MN 上的位置到小孔的距离是相等的,且小于轨迹圆的直径;而初速度为 v_2 的质子的速度方向与 MN 垂直,则它的运动轨迹正好是半圆,所以质子打到平板 MN 上的位置到小孔的距离恰好是轨迹圆的直径,则知 $s_1=s_3<s_2$,D 正确。

2.(2020 届贵州遵义模拟,5)如图所示,在 x 轴上方垂直于纸面向外的匀强磁场中,两带电荷量相同而质量不同的粒子以相同的速度从 O 点与 x 轴正方向成 $\alpha=60°$ 角在图示的平面内射入 x 轴上方时,发现质量为 m_1 的粒子从 a 点射出磁场,质量为 m_2 的粒子从 b 点射出磁场。若另一与上述两粒子带电荷量相同而质量不同的粒子以相同速率从 O 点与 x 轴正方向成 $\alpha=30°$ 角射入 x 轴上方时,发现它从 ab 的中点 c 射出磁场,则该粒子的质量应为(不计所有粒子的重力作用) ( )



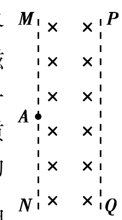
A.m_1+m_2　　B.$\frac{\sqrt{6}}{4}(m_1+m_2)$

C.$\frac{\sqrt{3}}{2}(m_1+m_2)$　　D.$\frac{\sqrt{6}}{6}(m_1+m_2)$

答案 C 本题考查了带电粒子在有界磁场中的多解问题,体现了科学思维中科学推理要素。

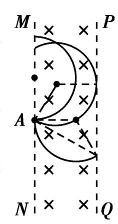
粒子在磁场中做匀速圆周运动,设由 c 点射出的粒子质量为 m_3,$Oa=L$,$ab=d$,由几何关系可知质量为 m_1、m_2、m_3 的粒子轨道半径分别为 $R_1=\frac{\frac{L}{2}}{\sin 60°}=\frac{\sqrt{3}}{3}L$,$R_2=\frac{\sqrt{3}(L+d)}{3}$,$R_3=\frac{1}{2}\times\frac{L+\frac{d}{2}}{\cos 60°}=L+\frac{d}{2}$,故 $\sqrt{3}(R_1+R_2)=2R_3$,粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动,洛伦兹力提供向心力,故有 $qvB=m_1\frac{v^2}{R_1}$,$qvB=m_2\frac{v^2}{R_2}$,$qvB=m_3\frac{v^2}{R_3}$,联立各式解得 $m_3=\frac{\sqrt{3}}{2}(m_1+m_2)$,选项 C 正确。

3.(2018 江西上饶六校一联)如图所示,平行边界 MN、PQ 间有垂直纸面向里的匀强磁场,磁场的磁感应强度大小为 B,两边界的间距为 d,MN 上有一粒子源 A,可在纸面内沿各个方向向磁场中射入质量均为 m、电荷量均为 $+q$ 的粒子,粒子射入磁场的速度大小 $v=\frac{2qBd}{3m}$,不计粒子的重力和粒子间的相互作用力,则粒子能从 PQ 边界射出的区域长度与能从 MN 边界射出的区域长度之比为 ( )



A.1∶1　　B.2∶3　　C.$\sqrt{3}$∶2　　D.$\sqrt{3}$∶3

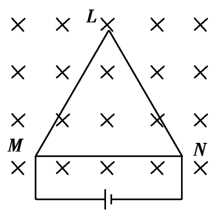
答案 C 粒子在磁场中运动时,$Bqv=\frac{mv^2}{R}$,粒子运动轨迹半径 $R=\frac{mv}{Bq}=\frac{2}{3}d$;由左手定则可得:粒子沿逆时针方向偏转,做圆周运动;粒子沿 AN 方向进入磁场时到达 PQ 边界的最下端距 A 点的竖直距离 $L_1=\sqrt{R^2-(d-R)^2}=\frac{\sqrt{3}}{3}d$;运动轨迹与 PQ 相切时,切点为到达 PQ 边界的最上端,距 A 点的竖直距离 $L_2=\sqrt{R^2-(d-R)^2}=\frac{\sqrt{3}}{3}d$,所以粒子在 PQ 边界射出的区域长度为:$L=L_1+L_2=\frac{2\sqrt{3}}{3}d$;因为 $R<d$,所以粒子在 MN 边界射出区域的长度为 $L'=2R=\frac{4}{3}d$。故两区域长度之比为 $L:L'=\frac{2\sqrt{3}}{3}d:\frac{4}{3}d=\sqrt{3}:2$,故 C 项正确,A、B、D 错误。



2015-2019 5年高考 对应学生用书起始页码 251

A组　基础题组

1.(2019 课标Ⅰ,17,6 分)如图,等边三角形线框 LMN 由三根相同的导体棒连接而成,固定于匀强磁场中,线框平面与磁感应强度方向垂直,线框顶点 M、N 与直流电源两端相接。已知导体棒 MN 受到的安培力大小为 F,则线框 LMN 受到的安培力的大小为　(　　)

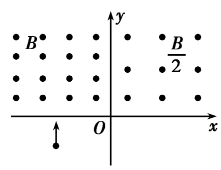


A.$2F$　　B.$1.5F$　　C.$0.5F$　　D.0

答案　B　本题考查安培力及考生应用数学知识解决物理问题的能力,体现了核心素养中的模型建构要素。

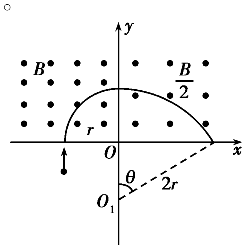
设三根相同的导体棒的电阻均为 R,长度均为 l,其中 ML 和 LN 为串联关系,总电阻为 $2R$。由并联电路特点可知,通过 MN 的电流为通过 ML 和 LN 中的电流的两倍,若 MN 受到的安培力 $F=BIl$,则 ML 和 LN 受到的安培力的合力 $F_1=\frac{BIl}{2}$,MN 受到的安培力与 ML 和 LN 受到的安培力的合力的方向相同,故线框受到的安培力为 $F_合=F+F_1=1.5F$,故选 B。

2.(2019 课标Ⅲ,18,6 分)如图,在坐标系的第一和第二象限内存在磁感应强度大小分别为 $\frac{1}{2}B$ 和 B、方向均垂直于纸面向外的匀强磁场。一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子垂直于 x 轴射入第二象限,随后垂直于 y 轴进入第一象限,最后经过 x 轴离开第一象限。粒子在磁场中运动的时间为　(　　)



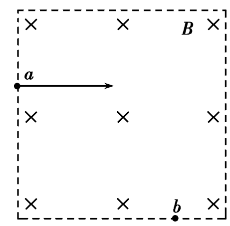
A.$\frac{5\pi m}{6qB}$　　B.$\frac{7\pi m}{6qB}$　　C.$\frac{11\pi m}{6qB}$　　D.$\frac{13\pi m}{6qB}$

答案　B　本题考查了带电粒子在组合场中的运动,要求学生对粒子在匀强磁场中的运动轨迹进行确定,从而确定运动时间,体现了分析和解决问题的能力,是学科核心素养中科学推理素养的具体表现。



由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 得粒子在第二象限内运动的轨迹半径 $r=\frac{mv}{Bq}$,当粒子进入第一象限时,由于磁感应强度减为 $\frac{1}{2}B$,故轨迹半径变为 $2r$,轨迹如图所示。由几何关系可得 $\cos\theta=\frac{1}{2}$,$\theta=60°$,则粒子运动时间 $t=\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi m}{Bq}+\frac{1}{6}\cdot\frac{2\pi m}{\frac{1}{2}Bq}=\frac{7\pi m}{6qB}$,选项 B 正确。

3.(2019 北京理综,16,6 分)如图所示,正方形区域内存在垂直纸面的匀强磁场。一带电粒子垂直磁场边界从 a 点射入,从 b 点射出。下列说法正确的是　(　　)



A.粒子带正电

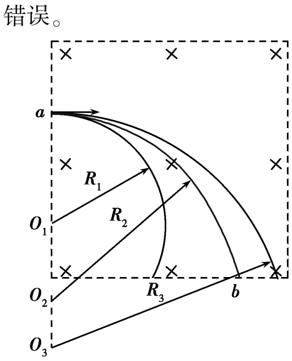
B.粒子在 b 点速率大于在 a 点速率

C.若仅减小磁感应强度,则粒子可能从 b 点右侧射出

D.若仅减小入射速率,则粒子在磁场中运动时间变短

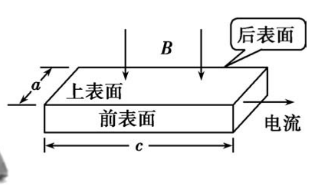
答案　C　本题为带电粒子在匀强磁场中运动的问题,主要考查考生对相关知识的理解能力和推理能力,是物理学科中运动与相互作用观念、模型建构、科学推理等核心素养的具体体现。

由运动轨迹和左手定则可判定该粒子带负电,A 错误;粒子在磁场中做匀速圆周运动,故粒子在 b 点速率等于在 a 点速率,B 错误;由 $qvB=m\frac{v^2}{R}$ 得 $R=\frac{mv}{qB}$,若仅减小磁感应强度,则 R 增大,如图,粒子将从 b 点右侧射出,故 C 正确;粒子运动周期 $T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$,若仅减小入射速率,则 R 减小,T 不变,粒子运动轨迹所对应的圆心角 θ 变大,由 $t=\frac{\theta}{360°}T$ 可知,粒子运动时间将变长,故 D 错误。



4.(2019 天津理综,4,6 分)笔记本电脑机身和显示屏对应部位分别有磁体和霍尔元件。当显示屏开启时磁体远离霍尔元件,电脑正常工作;当显示屏闭合时磁体靠近霍尔元件,屏幕熄灭,电脑进入休眠状态。如图所示,一块宽为 a、长为 c 的矩形半导体霍尔元件,元件内的导电粒子是电荷量为 e 的自由电子,通入方向向右的电流时,电子的定向移动速度为 v。当显示屏闭合时元件处于垂直于上表面、方向向下的匀强磁场中,于是元件的前、后表面间出现电压 U,以此控制屏幕的熄灭。则元件的　(　　)





A.前表面的电势比后表面的低

B.前、后表面间的电压 U 与 v 无关

C.前、后表面间的电压 U 与 c 成正比

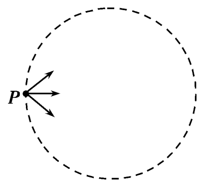
D.自由电子受到的洛伦兹力大小为$\frac{eU}{a}$

答案 D 本题考查了霍尔元件的工作原理和应用，以及考生的理解能力和应用数学知识处理物理问题的能力，体现了科学推理素养和应用与创新的价值观念。

根据左手定则判断出电子受力情况，可知电子偏转到后表面，前表面电势高于后表面电势，故 A 项错误。再由 $Ee=Bev=F_{洛}$，$E=\frac{U}{a}$，解得 $U=Bva$，$F_{洛}=\frac{eU}{a}$，U 与 v 成正比、U 与 c 无关，故 B、C 项错误，D 项正确。

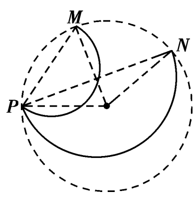
解题关键 熟练应用霍尔效应的原理、特点进行推导分析。

5.(2017 课标Ⅱ,18,6 分)如图，虚线所示的圆形区域内存在一垂直于纸面的匀强磁场，P 为磁场边界上的一点。大量相同的带电粒子以相同的速率经过 P 点，在纸面内沿不同方向射入磁场。若粒子射入速率为 v_1，这些粒子在磁场边界的出射点分布在六分之一圆周上；若粒子射入速率为 v_2，相应的出射点分布在三分之一圆周上。不计重力及带电粒子之间的相互作用。则 $v_2:v_1$ 为 ( )



A.$\sqrt{3}:2$ B.$\sqrt{2}:1$ C.$\sqrt{3}:1$ D.$3:\sqrt{2}$

答案 C 设速率为 v_1 的粒子最远出射点为 M，速率为 v_2 的粒子最远出射点为 N，如图所示，则由几何知识得



$r_1=\frac{PM}{2}=\frac{R}{2}$，$r_2=\frac{PN}{2}=\frac{\sqrt{3}}{2}R$

$\frac{r_2}{r_1}=\frac{\sqrt{3}}{1}$

由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 得 $r=\frac{mv}{qB}$，故 $\frac{v_2}{v_1}=\frac{r_2}{r_1}=\frac{\sqrt{3}}{1}$，

选项 C 正确。

审题指导 粒子速度方向改变、大小不变时其轨迹半径相等，当粒子的轨迹直径与磁场区域相交时，其弦长最长。

6.(2015 课标Ⅰ,14,6 分)两相邻匀强磁场区域的磁感应强度大小不同、方向平行。一速度方向与磁感应强度方向垂直的带电粒子(不计重力)，从较强磁场区域进入到较弱磁场区域后，粒子的 ( )

A.轨道半径减小，角速度增大

B.轨道半径减小，角速度减小

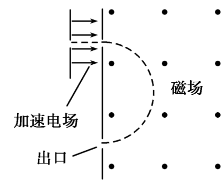
C.轨道半径增大，角速度增大

D.轨道半径增大，角速度减小

答案 D 因洛伦兹力不做功，故带电粒子从较强磁场区域进入到较弱的磁场区域后，其速度大小不变，由 $r=\frac{mv}{qB}$ 知，轨道半径增大；由角速度 $\omega=\frac{v}{r}$ 知，角速度减小，选项 D 正确。

解题关键 ①洛伦兹力对带电粒子不做功。②粒子做圆周运动满足 $Bqv=m\frac{v^2}{r}$，可得 $r=\frac{mv}{Bq}$。③$v=\omega r$。

7.(2016 课标Ⅰ,15,6 分)现代质谱仪可用来分析比质子重很多倍的离子，其示意图如图所示，其中加速电压恒定。质子在入口处从静止开始被加速电场加速，经匀强磁场偏转后从出口离开磁场。若某种一价正离子在入口处从静止开始被同一加速电场加速，为使它经匀强磁场偏转后仍从同一出口离开磁场，需将磁感应强度增加到原来的 12 倍。此离子和质子的质量比约为 ( )



A.11 B.12 C.121 D.144

答案 D 设质子和离子的质量分别为 m_1 和 m_2，原磁感应强度为 B_1，改变后的磁感应强度为 B_2。在加速电场中 $qU=\frac{1}{2}mv^2$①，在磁场中 $qvB=m\frac{v^2}{R}$②，联立两式得 $m=\frac{R^2B^2q}{2U}$，故有 $\frac{m_2}{m_1}=\frac{B_2^2}{B_1^2}=144$，选项 D 正确。

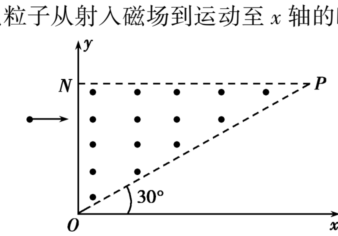
审题指导 注意题给信息的含义，“经匀强磁场偏转后仍从同一出口离开”意味着两粒子在磁场中运动的半径相等。

评析 此题考查带电粒子在电场和磁场中的运动规律，难度中等。考生需要根据题目信息找出相关运动规律公式，再结合题给条件分析解答。

8.(2019 课标Ⅰ,24,12 分)如图，在直角三角形 OPN 区域内存在匀强磁场，磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向外。一带正电的粒子从静止开始经电压 U 加速后，沿平行于 x 轴的方向射入磁场；一段时间后，该粒子在 OP 边上某点以垂直于 x 轴的方向射出。已知 O 点为坐标原点，N 点在 y 轴上，OP 与 x 轴的夹角为 30°，粒子进入磁场的入射点与离开磁场的出射点之间的距离为 d，不计重力。求

(1)带电粒子的比荷；

(2)带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间。



答案 (1)$\frac{4U}{B^2d^2}$ (2)$\frac{Bd^2}{4U}\left(\frac{\pi}{2}+\frac{\sqrt{3}}{3}\right)$

解析 本题考查了带电粒子在磁场中的匀速圆周运动问题，考查了考生应用数学知识处理、分析物理问题的能力，体现了物理学科中的运动与相互作用观念的素养要素以及科学推理的核心素养。

(1)设带电粒子的质量为 m，电荷量为 q，加速后的速度大小为 v。由动能定理有

$$qU=\frac{1}{2}mv^2 \quad ①$$

设粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为 r，由洛伦兹力公式和牛顿第二定律有

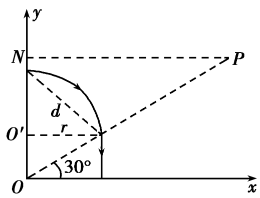
$$qvB=m\frac{v^2}{r} \quad ②$$

由几何关系知

$$d=\sqrt{2}r \quad ③$$

联立①②③式得

$$\frac{q}{m}=\frac{4U}{B^2d^2} \quad ④$$



(2)由几何关系知,带电粒子射入磁场后运动到 x 轴所经过的路程为

$$s=\frac{\pi r}{2}+r\tan 30° \quad ⑤$$

带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间为

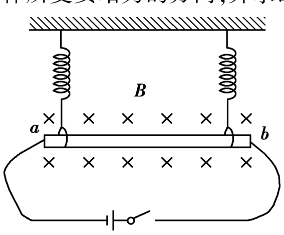
$$t=\frac{s}{v} \quad ⑥$$

联立②④⑤⑥式得

$$t=\frac{Bd^2}{4U}\left(\frac{\pi}{2}+\frac{\sqrt{3}}{3}\right) \quad ⑦$$

方法诠释　确定带电粒子在磁场中做圆周运动时圆心位置的方法:①利用两速度方向的垂线;②利用弦的中垂线;③利用两速度方向间夹角补角的角平分线;④利用半径的大小。

9.(2015课标Ⅰ,24,12分)如图,一长为10 cm的金属棒 ab 用两个完全相同的弹簧水平地悬挂在匀强磁场中;磁场的磁感应强度大小为0.1 T,方向垂直于纸面向里;弹簧上端固定,下端与金属棒绝缘。金属棒通过开关与一电动势为12 V的电池相连,电路总电阻为2 Ω。已知开关断开时两弹簧的伸长量均为0.5 cm;闭合开关,系统重新平衡后,两弹簧的伸长量与开关断开时相比均改变了0.3 cm。重力加速度大小取10 m/s²。判断开关闭合后金属棒所受安培力的方向,并求出金属棒的质量。



答案　见解析

解析　依题意,开关闭合后,电流方向为从 b 到 a,由左手定则可知,金属棒所受的安培力方向为竖直向下。

开关断开时,两弹簧各自相对于其原长的伸长量为 $\Delta l_1=0.5$ cm。由胡克定律和力的平衡条件得

$$2k\Delta l_1=mg \quad ①$$

式中,m 为金属棒的质量,k 是弹簧的劲度系数,g 是重力加速度的大小。

开关闭合后,金属棒所受安培力的大小为

$$F=IBL \quad ②$$

式中,I 是回路电流,L 是金属棒的长度。两弹簧各自再伸长了 $\Delta l_2=0.3$ cm,由胡克定律和力的平衡条件得

$$2k(\Delta l_1+\Delta l_2)=mg+F \quad ③$$

由欧姆定律有

$$E=IR \quad ④$$

式中,E 是电池的电动势,R 是电路总电阻。

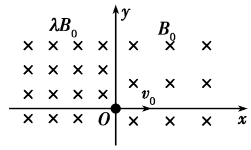
联立①②③④式,并代入题给数据得

$$m=0.01\ \text{kg} \quad ⑤$$

(安培力方向判断正确给2分,①②③④⑤式各2分。)

解题指导　①安培力的方向由左手定则判断,其中棒上电流方向为 $b\to a$。②开关断开时,金属棒不受安培力,两弹簧对棒的弹力的合力与棒的重力平衡。③通电后,由于安培力向下,故两弹簧各自再向下伸长0.3 cm。④结合欧姆定律、平衡条件、胡克定律等分析求解。

10.(2017课标Ⅲ,24,12分)如图,空间存在方向垂直于纸面(xOy 平面)向里的磁场。在 $x\geqslant0$ 区域,磁感应强度的大小为 B_0;$x<0$ 区域,磁感应强度的大小为 λB_0(常数 $\lambda>1$)。一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子以速度 v_0 从坐标原点 O 沿 x 轴正向射入磁场,此时开始计时。当粒子的速度方向再次沿 x 轴正向时,求(不计重力)



(1)粒子运动的时间;

(2)粒子与 O 点间的距离。

答案　(1)$\frac{\pi m}{B_0q}\left(1+\frac{1}{\lambda}\right)$　(2)$\frac{2mv_0}{B_0q}\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)$

解析　本题考查带电粒子在磁场中的运动。

(1)在匀强磁场中,带电粒子做圆周运动。设在 $x\geqslant0$ 区域,圆周半径为 R_1;在 $x<0$ 区域,圆周半径为 R_2。由洛伦兹力公式及牛顿运动定律得

$$qB_0v_0=m\frac{v_0^2}{R_1} \quad ①$$

$$q\lambda B_0v_0=m\frac{v_0^2}{R_2} \quad ②$$

粒子速度方向转过180°时,所需时间 t_1 为

$$t_1=\frac{\pi R_1}{v_0} \quad ③$$

粒子再转过180°时,所需时间 t_2 为

$$t_2=\frac{\pi R_2}{v_0} \quad ④$$

联立①②③④式得,所求时间为

$$t_0=t_1+t_2=\frac{\pi m}{B_0q}\left(1+\frac{1}{\lambda}\right) \quad ⑤$$

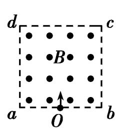
(2)由几何关系及①②式得,所求距离为

$$d_0=2(R_1-R_2)=\frac{2mv_0}{B_0q}\left(1-\frac{1}{\lambda}\right) \quad ⑥$$

综合点评　带电粒子在匀强磁场中做圆周运动,洛伦兹力提供向心力。特点是粒子在 y 轴左、右两侧的受力大小有突变。因为 $B_左>B_右$,所以 $R_左<R_右$。速度方向再次沿 x 轴正向时,意味着粒子在左、右磁场中各转过半周。所以粒子与 O 点间距离为直径的差值。

B组　提升题组

1.(2019课标Ⅱ,17,6分)如图,边长为 l 的正方形 $abcd$ 内存在匀强磁场,磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面($abcd$ 所在平面)向外。ab 边中点有一电子发射源 O,可向磁场内沿垂直于 ab 边的方向发射电子。已知电子的比荷为 k。则从 a、d 两点射出的电子的速度大小分别为　(　　)



A. $\frac{1}{4}kBl,\frac{\sqrt{5}}{4}kBl$　　B. $\frac{1}{4}kBl,\frac{5}{4}kBl$

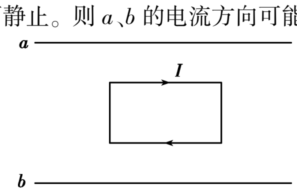
C.$\frac{1}{2}kBl,\frac{\sqrt{5}}{4}kBl$　　　　D.$\frac{1}{2}kBl,\frac{5}{4}kBl$

答案　B　本题考查了电子在磁场中运动的问题,有利于综合分析能力、应用数学知识处理物理问题能力的培养,突出了核心素养中的模型建构、科学推理、科学论证要素。

从 a 点射出的电子运动轨迹的半径 $R_1=\frac{l}{4}$,由 $Bqv_1=m\frac{v_1^2}{\frac{l}{4}}$得 $v_1=\frac{Bql}{4m}=\frac{1}{4}kBl$;从 d 点射出的电子运动轨迹的半径 R_2 满足关系$\left(R_2-\frac{l}{2}\right)^2+l^2=R_2^2$,得 $R_2=\frac{5}{4}l$,由 $Bqv_2=m\frac{v_2^2}{\frac{5}{4}l}$得$v_2=\frac{5Bql}{4m}=\frac{5}{4}kBl$,故正确选项为 B。

思路分析　由左手定则可判断电子的受力及偏转方向,画出电子在磁场中的运动轨迹,由相关的数学知识确定两轨迹的半径,再由洛伦兹力提供向心力,解出从 a、d 两点射出的电子的速度大小。

2.(2019江苏单科,7,4分)(多选)如图所示,在光滑的水平桌面上,a 和 b 是两条固定的平行长直导线,通过的电流相等。矩形线框位于两条导线的正中间,通有顺时针方向的电流,在 a、b 产生的磁场作用下静止。则 a、b 的电流方向可能是　(　　)



A.均向左　　　　B.均向右

C.a 的向左,b 的向右　　　　D.a 的向右,b 的向左

答案　CD　本题考查安培定则及左手定则,考查基础的物理概念。

由于线框在两通电导线的中间,且对边电流方向相反,大小相等,只要 a、b 两导线通有相反方向的电流,利用安培定则,可知线框的对边所在处磁场大小相等,方向相同,再利用左手定则可判定线框对边所受安培力大小相等,方向相反,线框处于平衡状态,故 A、B 错误,C、D 正确。

易错警示　安培定则用右手,左手定则用左手。

3.(2015课标Ⅱ,18,6分)(多选)指南针是我国古代四大发明之一。关于指南针,下列说法正确的是　(　　)

A.指南针可以仅具有一个磁极

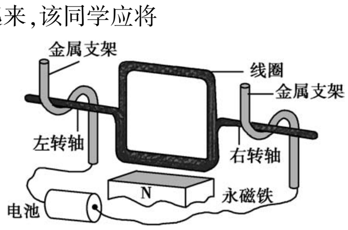
B.指南针能够指向南北,说明地球具有磁场

C.指南针的指向会受到附近铁块的干扰

D.在指南针正上方附近沿指针方向放置一直导线,导线通电时指南针不偏转

答案　BC　任何磁体均具有两个磁极,故 A 错。指南针之所以能指向南北,是因为指南针的两个磁极受到磁场力的作用,这说明地球具有磁场,即 B 正确。放在指南针附近的铁块被磁化后,反过来会影响指南针的指向,即 C 正确。通电直导线产生的磁场对其正下方的指南针有磁场力的作用,会使指南针发生偏转,故 D 错。

4.(2017课标Ⅱ,21,6分)(多选)某同学自制的简易电动机示意图如图所示。矩形线圈由一根漆包线绕制而成,漆包线的两端分别从线圈的一组对边的中间位置引出,并作为线圈的转轴。将线圈架在两个金属支架之间,线圈平面位于竖直面内,永磁铁置于线圈下方。为了使电池与两金属支架连接后线圈能连续转动起来,该同学应将　(　　)



A.左、右转轴下侧的绝缘漆都刮掉

B.左、右转轴上下两侧的绝缘漆都刮掉

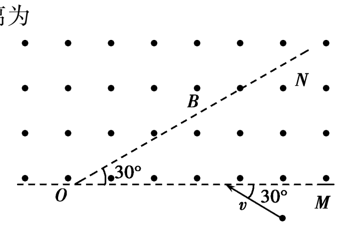
C.左转轴上侧的绝缘漆刮掉,右转轴下侧的绝缘漆刮掉

D.左转轴上下两侧的绝缘漆都刮掉,右转轴下侧的绝缘漆刮掉

答案　AD　本题考查安培力、电路,考查学生的推理能力、实验能力。要使线圈在磁场中开始转动,则线圈中必有电流通过,电路必须接通,故左右转轴下侧的绝缘漆都必须刮掉;但如果上侧的绝缘漆也都刮掉,当线圈转过 180°时,靠近磁极的导线与开始时靠近磁极的导线中的电流方向相反,受到的安培力相反,线圈向原来的反方向转动,线圈最终做往返运动,要使线圈连续转动,当线圈转过 180°时,线圈中不能有电流通过,依靠惯性转动到初始位置再接通电路即可实现连续转动,故左、右转轴的上侧不能都刮掉,故选项 A、D 正确。

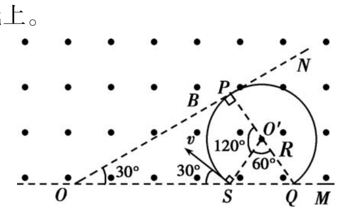
易错警示　①一根漆包线绕制的矩形线圈中电流方向的判定。②要使线圈连续转动,要么受到方向不变的持续的安培力,要么受到间歇性的方向不变的安培力,依靠惯性连续转动,而不能受到交变的安培力作用。

5.(2016课标Ⅲ,18,6分)平面 OM 和平面 ON 之间的夹角为 30°,其横截面(纸面)如图所示,平面 OM 上方存在匀强磁场,磁感应强度大小为 B,方向垂直于纸面向外。一带电粒子的质量为 m,电荷量为 $q(q>0)$。粒子沿纸面以大小为 v 的速度从 OM 的某点向左上方射入磁场,速度与 OM 成 30°角。已知该粒子在磁场中的运动轨迹与 ON 只有一个交点,并从 OM 上另一点射出磁场。不计重力。粒子离开磁场的出射点到两平面交线 O 的距离为　(　　)



A.$\frac{mv}{2qB}$　　B.$\frac{\sqrt{3}mv}{qB}$　　C.$\frac{2mv}{qB}$　　D.$\frac{4mv}{qB}$

答案　D　粒子在磁场中的运动轨迹如图所示,由 $qvB=m\frac{v^2}{R}$得 $R=\frac{mv}{qB}$,分析图中角度关系可知,PO'半径与 $O'Q$ 半径在同一条直线上。



则 $PQ=2R$,所以 $OQ=4R=\frac{4mv}{qB}$,选项 D 正确。

审题指导　①由左手定则可判定粒子进入磁场后的偏转方向。②因粒子在磁场中的运动轨迹与 ON 只有一个交点,则知粒子的运动轨迹与 ON 相切。③如何确定圆心是作图的关键。

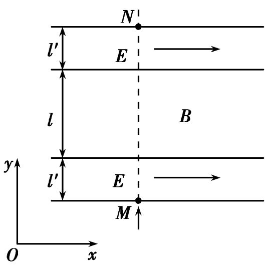
6.(2018课标Ⅱ,25,20分)一足够长的条状区域内存在匀强电场和匀强磁场,其在 xOy 平面内的截面如图所示:中间是磁场

区域,其边界与 y 轴垂直,宽度为 l,磁感应强度的大小为 B,方向垂直于 xOy 平面;磁场的上、下两侧为电场区域,宽度均为 l',电场强度的大小均为 E,方向均沿 x 轴正方向;M、N 为条状区域边界上的两点,它们的连线与 y 轴平行。一带正电的粒子以某一速度从 M 点沿 y 轴正方向射入电场,经过一段时间后恰好以从 M 点入射的速度从 N 点沿 y 轴正方向射出。不计重力。

(1)定性画出该粒子在电磁场中运动的轨迹;

(2)求该粒子从 M 点入射时速度的大小;

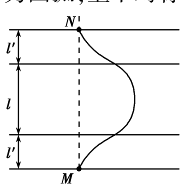
(3)若该粒子进入磁场时的速度方向恰好与 x 轴正方向的夹角为 $\frac{\pi}{6}$,求该粒子的比荷及其从 M 点运动到 N 点的时间。



答案　(1)见解析　(2) $\frac{2El'}{Bl}$　(3) $\frac{4\sqrt{3}El'}{B^2l^2}$　$\frac{Bl}{E}\left(1+\frac{\sqrt{3}\pi l}{18l'}\right)$

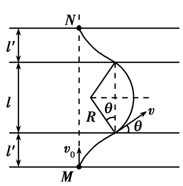
解析　本题考查带电粒子在复合场中的运动。

(1)粒子运动的轨迹如图(a)所示。(粒子在电场中的轨迹为抛物线,在磁场中为圆弧,上下对称)



图(a)

(2)粒子从电场下边界入射后在电场中做类平抛运动。设粒子从 M 点射入时速度的大小为 v_0,在下侧电场中运动的时间为 t,加速度的大小为 a;粒子进入磁场的速度大小为 v,方向与电场方向的夹角为 θ[见图(b)],速度沿电场方向的分量为 v_1。



图(b)

根据牛顿第二定律有

$qE=ma$　①

式中 q 和 m 分别为粒子的电荷量和质量。由运动学公式有

$v_1=at$　②

$l'=v_0t$　③

$v_1=v\cos\theta$　④

粒子在磁场中做匀速圆周运动,设其运动轨道半径为 R,由洛伦兹力公式和牛顿第二定律得

$qvB=\frac{mv^2}{R}$　⑤

由几何关系得

$l=2R\cos\theta$　⑥

联立①②③④⑤⑥式得

$v_0=\frac{2El'}{Bl}$　⑦

(3)由运动学公式和题给数据得

$v_1=v_0\cot\frac{\pi}{6}$　⑧

联立①②③⑦⑧式得

$\frac{q}{m}=\frac{4\sqrt{3}El'}{B^2l^2}$　⑨

设粒子由 M 点运动到 N 点所用的时间为 t',则

$t'=2t+\frac{2\left(\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{6}\right)}{2\pi}T$　⑩

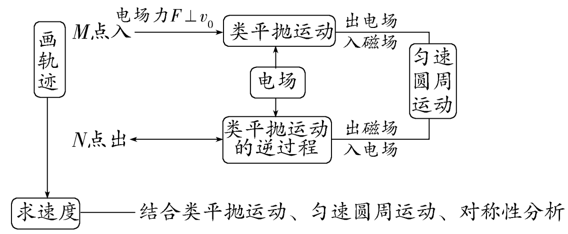
式中 T 是粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期,

$T=\frac{2\pi m}{qB}$　⑪

由③⑦⑨⑩⑪式得

$t'=\frac{Bl}{E}\left(1+\frac{\sqrt{3}\pi l}{18l'}\right)$　⑫

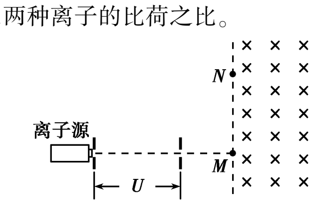
审题指导　对称性是解题关键



7.(2018 课标Ⅲ,24,12 分)如图,从离子源产生的甲、乙两种离子,由静止经加速电压 U 加速后在纸面内水平向右运动,自 M 点垂直于磁场边界射入匀强磁场,磁场方向垂直于纸面向里,磁场左边界竖直。已知甲种离子射入磁场的速度大小为 v_1,并在磁场边界的 N 点射出;乙种离子在 MN 的中点射出;MN 长为 l。不计重力影响和离子间的相互作用。求

(1)磁场的磁感应强度大小;

(2)甲、乙两种离子的比荷之比。



答案　(1) $\frac{4U}{lv_1}$　(2)1∶4

解析　本题考查带电粒子在电场和磁场中的运动。

(1)设甲种离子所带电荷量为 q_1、质量为 m_1,在磁场中做匀速圆周运动的半径为 R_1,磁场的磁感应强度大小为 B,由动能定理有

$q_1U=\frac{1}{2}m_1v_1^2$　①

由洛伦兹力公式和牛顿第二定律有

$q_1v_1B=m_1\frac{v_1^2}{R_1}$　②

由几何关系知

$2R_1=l$　③

由①②③式得

$B=\frac{4U}{lv_1}$　④

(2)设乙种离子所带电荷量为 q_2、质量为 m_2,射入磁场的速度为 v_2,在磁场中做匀速圆周运动的半径为 R_2。同理有

$q_2U=\frac{1}{2}m_2v_2^2$ ⑤

$q_2v_2B=m_2\frac{v_2^2}{R_2}$ ⑥

由题给条件有

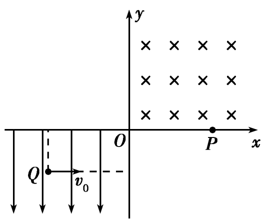
$2R_2=\frac{l}{2}$ ⑦

由①②③⑤⑥⑦式得,甲、乙两种离子的比荷之比为

$\frac{q_1}{m_1}:\frac{q_2}{m_2}=1:4$ ⑧

思路分析 根据题设条件,分析离子在电场和磁场中的运动情况,结合动能定理、牛顿第二定律等知识列方程求解。

8.(2017 天津理综,11,18 分) 平面直角坐标系 xOy 中,第Ⅰ象限存在垂直于平面向里的匀强磁场,第Ⅲ象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场,如图所示。一带负电的粒子从电场中的 Q 点以速度 v_0 沿 x 轴正方向开始运动,Q 点到 y 轴的距离为到 x 轴距离的 2 倍。粒子从坐标原点 O 离开电场进入磁场,最终从 x 轴上的 P 点射出磁场,P 点到 y 轴距离与 Q 点到 y 轴距离相等。不计粒子重力,问:



(1)粒子到达 O 点时速度的大小和方向;

(2)电场强度和磁感应强度的大小之比。

答案 见解析

解析 本题考查带电粒子在电场中的偏转及带电粒子在匀强磁场中的运动。

(1)在电场中,粒子做类平抛运动,设 Q 点到 x 轴距离为 L,到 y 轴距离为 $2L$,粒子的加速度为 a,运动时间为 t,有

$2L=v_0t$ ①

$L=\frac{1}{2}at^2$ ②

设粒子到达 O 点时沿 y 轴方向的分速度为 v_y

$v_y=at$ ③

设粒子到达 O 点时速度方向与 x 轴正方向夹角为 α,有

$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$ ④

联立①②③④式得

$\alpha=45°$ ⑤

即粒子到达 O 点时速度方向与 x 轴正方向成 45°角斜向上

设粒子到达 O 点时速度大小为 v,由运动的合成有

$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$ ⑥

联立①②③⑥式得

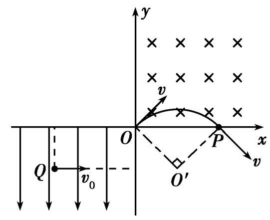
$v=\sqrt{2}v_0$ ⑦

(2)设电场强度为 E,粒子电荷量为 q,质量为 m,粒子在电场中受到的电场力为 F,由牛顿第二定律可得

$F=ma$ ⑧

又 $F=qE$ ⑨

设磁场的磁感应强度大小为 B,粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为 R,所受的洛伦兹力提供向心力,有



$qvB=m\frac{v^2}{R}$ ⑩

由几何关系可知

$R=\sqrt{2}L$ ⑪

联立①②⑦⑧⑨⑩⑪式得

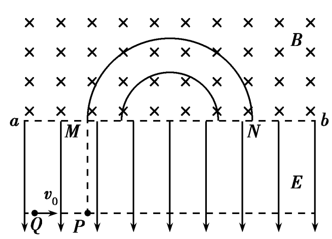
$\frac{E}{B}=\frac{v_0}{2}$ ⑫

温馨提示 粒子在电场中做类平抛运动,由于题给条件太少,仅有 $2y=x$ 及初速度 v_0,所以可先按类平抛运动模型的常用步骤及方程组建思路。比如,$x=v_0t$,$y=\frac{1}{2}at^2$,$v_y=at$,$v=\sqrt{v_0^2+a^2t^2}$,$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$等,再将已知条件代入,逐渐消除中间变量,最后找到答案。带电粒子在匀强磁场中的运动属于匀速圆周运动,即使不知道半径 R,也可以先写出 $qvB=\frac{mv^2}{R}$,尽可能多拿分。

9.(2018 天津理综,11,18 分) 如图所示,在水平线 ab 的下方有一匀强电场,电场强度为 E,方向竖直向下,ab 的上方存在匀强磁场,磁感应强度为 B,方向垂直纸面向里。磁场中有一内、外半径分别为 R、$\sqrt{3}R$ 的半圆环形区域,外圆与 ab 的交点分别为 M、N。一质量为 m、电荷量为 q 的带负电粒子在电场中 P 点静止释放,由 M 进入磁场,从 N 射出。不计粒子重力。

(1)求粒子从 P 到 M 所用的时间 t;

(2)若粒子从与 P 同一水平线上的 Q 点水平射出,同样能由 M 进入磁场,从 N 射出。粒子从 M 到 N 的过程中,始终在环形区域中运动,且所用的时间最少,求粒子在 Q 时速度 v_0 的大小。



答案 (1)$\frac{\sqrt{3}RB}{E}$ (2)$\frac{qBR}{m}$

解析 本题考查带电粒子在复合场中的运动。

(1)设粒子在磁场中运动的速度大小为 v,所受洛伦兹力提供向心力,有

$qvB=m\frac{v^2}{\sqrt{3}R}$ ①

设粒子在电场中运动所受电场力为 F,有

$F=qE$ ②

设粒子在电场中运动的加速度为 a,根据牛顿第二定律有

$F=ma$ ③

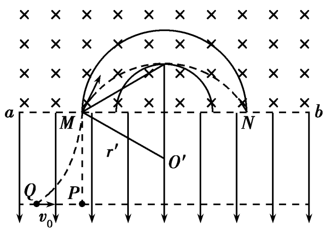
粒子在电场中做初速度为零的匀加速直线运动,有

$v=at$ ④

联立①②③④式得

$$t=\frac{\sqrt{3}RB}{E} \quad ⑤$$

(2)粒子进入匀强磁场后做匀速圆周运动，其周期与速度、半径无关，运动时间只由粒子所通过的圆弧所对的圆心角的大小决定。故当轨迹与内圆相切时，所用的时间最短。设粒子在磁场中的轨迹半径为 r'，由几何关系可得



$$(r'-R)^2+(\sqrt{3}R)^2=r'^2 \quad ⑥$$

设粒子进入磁场时速度方向与 ab 的夹角为 θ，即圆弧所对圆心角的一半，由几何关系知

$$\tan\theta=\frac{\sqrt{3}R}{r'-R} \quad ⑦$$

粒子从 Q 射出后在电场中做类平抛运动，在电场方向上的分运动和从 P 释放后的运动情况相同，所以粒子进入磁场时沿竖直方向的速度同样为 v。在垂直于电场方向上的分速度始终等于 v_0，由运动的合成和分解可得

$$\tan\theta=\frac{v}{v_0} \quad ⑧$$

联立①⑥⑦⑧式得

$$v_0=\frac{qBR}{m} \quad ⑨$$

思路分析　带电粒子在复合场中的运动

(1)粒子从 P 点静止释放，在环形区域中做匀速圆周运动。可先求出粒子做匀速圆周运动的速度，即粒子在电场中运动的末速度，再由在电场中的加速运动求得运动的时间。

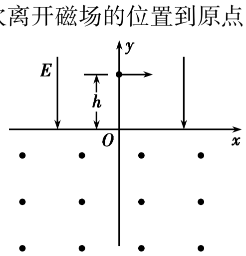
(2)从 Q 点射出的粒子，在环形区域中仍做匀速圆周运动。要使其圆周运动时间最短，其运动轨迹必与内圆相切。

10.(2018课标Ⅰ,25,20分)如图，在 $y>0$ 的区域存在方向沿 y 轴负方向的匀强电场，场强大小为 E；在 $y<0$ 的区域存在方向垂直于 xOy 平面向外的匀强磁场。一个氕核 ${}_1^1\text{H}$ 和一个氘核 ${}_1^2\text{H}$ 先后从 y 轴上 $y=h$ 点以相同的动能射出，速度方向沿 x 轴正方向。已知 ${}_1^1\text{H}$ 进入磁场时，速度方向与 x 轴正方向的夹角为60°，并从坐标原点 O 处第一次射出磁场。${}_1^1\text{H}$ 的质量为 m，电荷量为 q。不计重力。求

(1) ${}_1^1\text{H}$ 第一次进入磁场的位置到原点 O 的距离；

(2)磁场的磁感应强度大小；

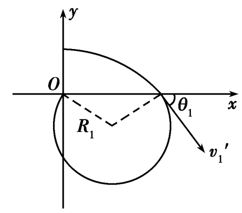
(3) ${}_1^2\text{H}$ 第一次离开磁场的位置到原点 O 的距离。



答案　(1) $\frac{2\sqrt{3}}{3}h$　(2) $\sqrt{\frac{6mE}{qh}}$　(3) $\frac{2\sqrt{3}}{3}(\sqrt{2}-1)h$

解析　本题考查带电粒子在电场中的偏转及带电粒子在匀强磁场中的运动。

(1) ${}_1^1\text{H}$ 在电场中做类平抛运动，在磁场中做圆周运动，运动轨迹如图所示。设 ${}_1^1\text{H}$ 在电场中的加速度大小为 a_1，初速度大小为 v_1，它在电场中的运动时间为 t_1，第一次进入磁场的位置到原点 O 的距离为 s_1。由运动学公式有



$$s_1=v_1t_1 \quad ①$$

$$h=\frac{1}{2}a_1t_1^2 \quad ②$$

由题给条件，${}_1^1\text{H}$ 进入磁场时速度的方向与 x 轴正方向夹角 $\theta_1=60°$。${}_1^1\text{H}$ 进入磁场时速度的 y 分量的大小为

$$a_1t_1=v_1\tan\theta_1 \quad ③$$

联立以上各式得

$$s_1=\frac{2\sqrt{3}}{3}h \quad ④$$

(2) ${}_1^1\text{H}$ 在电场中运动时，由牛顿第二定律有

$$qE=ma_1 \quad ⑤$$

设 ${}_1^1\text{H}$ 进入磁场时速度的大小为 v_1'，由速度合成法则有

$$v_1'=\sqrt{v_1^2+(a_1t_1)^2} \quad ⑥$$

设磁感应强度大小为 B，${}_1^1\text{H}$ 在磁场中运动的圆轨道半径为 R_1，由洛伦兹力公式和牛顿第二定律有

$$qv_1'B=\frac{mv_1'^2}{R_1} \quad ⑦$$

由几何关系得

$$s_1=2R_1\sin\theta_1 \quad ⑧$$

联立以上各式得

$$B=\sqrt{\frac{6mE}{qh}} \quad ⑨$$

(3)设 ${}_1^2\text{H}$ 在电场中沿 x 轴正方向射出的速度大小为 v_2，在电场中的加速度大小为 a_2，由题给条件得

$$\frac{1}{2}(2m)v_2^2=\frac{1}{2}mv_1^2 \quad ⑩$$

由牛顿第二定律有

$$qE=2ma_2 \quad ⑪$$

设 ${}_1^2\text{H}$ 第一次射入磁场时的速度大小为 v_2'，速度的方向与 x 轴正方向夹角为 θ_2，入射点到原点的距离为 s_2，在电场中运动的时间为 t_2。由运动学公式有

$$s_2=v_2t_2 \quad ⑫$$

$$h=\frac{1}{2}a_2t_2^2 \quad ⑬$$

$$v_2'=\sqrt{v_2^2+(a_2t_2)^2} \quad ⑭$$

$$\sin\theta_2=\frac{a_2t_2}{v_2'} \quad ⑮$$

联立以上各式得

$$s_2=s_1,\ \theta_2=\theta_1,\ v_2'=\frac{\sqrt{2}}{2}v_1' \quad ⑯$$

设 ${}_1^2\text{H}$ 在磁场中做圆周运动的半径为 R_2，由⑦⑯式及粒子在匀强磁场中做圆周运动的半径公式得

$$R_2=\frac{(2m)v_2'}{qB}=\sqrt{2}R_1 \quad ⑰$$

所以出射点在原点左侧。设 ${}_1^2\text{H}$ 进入磁场的入射点到第

一次离开磁场的出射点的距离为 s_2',由几何关系有

$s_2'=2R_2\sin\theta_2$ ⑱

联立④⑧⑯⑰⑱式得,${}_1^2H$ 第一次离开磁场时的位置到原点 O 的距离为

$s_2'-s_2=\frac{2\sqrt{3}}{3}(\sqrt{2}-1)h$ ⑲

规律总结 带电粒子在组合场中运动问题的一般解题思路

①电场中类平抛运动:$x=v_0t,y=\frac{1}{2}at^2$

速度方向:$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$

位移方向:$\tan\beta=\frac{y}{x}$

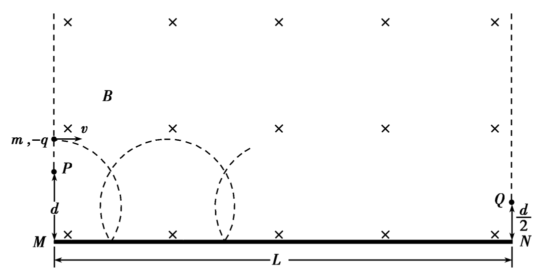
②磁场中匀速圆周运动的解题步骤:a.确定圆心; b.利用几何关系求半径;c.$qvB=\frac{mv^2}{R}$

11.(2019江苏单科,16,16分)如图所示,匀强磁场的磁感应强度大小为 B。磁场中的水平绝缘薄板与磁场的左、右边界分别垂直相交于 M、N,$MN=L$,粒子打到板上时会被反弹(碰撞时间极短),反弹前后水平分速度不变,竖直分速度大小不变、方向相反。质量为 m、电荷量为 $-q$ 的粒子速度一定,可以从左边界的不同位置水平射入磁场,在磁场中做圆周运动的半径为 d,且 $d<L$。粒子重力不计,电荷量保持不变。

(1)求粒子运动速度的大小 v;

(2)欲使粒子从磁场右边界射出,求入射点到 M 的最大距离 d_m;

(3)从 P 点射入的粒子最终从 Q 点射出磁场,$PM=d$,$QN=\frac{d}{2}$,求粒子从 P 到 Q 的运动时间 t。



答案 (1)$\frac{qBd}{m}$ (2)$\frac{2+\sqrt{3}}{2}d$

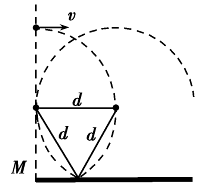
(3)$(\frac{L}{d}+\frac{3\sqrt{3}-4}{6})\frac{\pi m}{2qB}$或$(\frac{L}{d}-\frac{3\sqrt{3}-4}{6})\frac{\pi m}{2qB}$

解析 本题考查了带电粒子在匀强磁场中做圆周运动的极值问题及周期性问题。考查了学生的综合分析能力及应用数学知识处理物理问题的能力,体现了科学思维中模型建构、科学推理等素养要素,渗透了创新思维的价值观念。

(1)粒子的运动半径 $d=\frac{mv}{qB}$

解得 $v=\frac{qBd}{m}$

(2)如图所示,粒子碰撞后的运动轨迹恰好与磁场左边界相切



由几何关系得 $d_m=d(1+\sin60°)$

解得 $d_m=\frac{2+\sqrt{3}}{2}d$

(3)粒子的运动周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$

设粒子最后一次碰撞到射出磁场的时间为 t',则

$t=n\frac{T}{4}+t'(n=1,3,5,\cdots)$

(a)当 $L=nd+(1-\frac{\sqrt{3}}{2})d$ 时,粒子斜向上射出磁场

$t'=\frac{1}{12}T$

解得 $t=(\frac{L}{d}+\frac{3\sqrt{3}-4}{6})\frac{\pi m}{2qB}$

(b)当 $L=nd+(1+\frac{\sqrt{3}}{2})d$ 时,粒子斜向下射出磁场

$t'=\frac{5}{12}T$

解得 $t=(\frac{L}{d}-\frac{3\sqrt{3}-4}{6})\frac{\pi m}{2qB}$

解题关键 1.在有界磁场中运动的带电粒子不穿出某一边界的临界状态是粒子运动轨迹与该边界相切。2.带电粒子从磁场中某点运动到另一点时,若能与某一边界碰撞,往往可以形成周期性运动,要注意多解。

C组 教师专用题组

1.(2014课标Ⅰ,15,6分)关于通电直导线在匀强磁场中所受的安培力,下列说法正确的是 ( )

A.安培力的方向可以不垂直于直导线

B.安培力的方向总是垂直于磁场的方向

C.安培力的大小与通电直导线和磁场方向的夹角无关

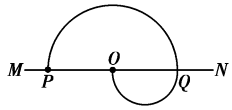
D.将直导线从中点折成直角,安培力的大小一定变为原来的一半

答案 B 由左手定则可知,安培力的方向一定与磁场方向和直导线垂直,选项A错、B正确;安培力的大小 $F=BIL\sin\theta$ 与直导线和磁场方向的夹角有关,选项C错误;将直导线从中点折成直角,假设原来直导线与磁场方向垂直,若折成直角后一段与磁场仍垂直,另一段与磁场平行,则安培力的大小变为原来的一半,若折成直角后,两段都与磁场垂直,则安培力的大小变为原来的$\frac{\sqrt{2}}{2}$,因此安培力大小不一定是原来的一半,选项D错误。

解题关键 ①左手定则中明确了安培力与 B 的方向及直导线均垂直。②安培力的表达式 $F=BIL\sin\theta$ 中 l 为与 B 垂直方向上的有效长度,θ 为磁感应强度 B 的方向与导线方向的夹角。

2.(2014课标Ⅰ,16,6分)如图,MN 为铝质薄平板,铝板上方和下方分别有垂直于图平面的匀强磁场(未画出)。一带电粒子从紧贴铝板上表面的 P 点垂直于铝板向上射出,从 Q 点穿越铝板后到达 PQ 的中点 O,已知粒子穿越铝板时,其动能损失

一半,速度方向和电荷量不变,不计重力。铝板上方和下方的磁感应强度大小之比为　(　　)



A.2　　B.$\sqrt{2}$　　C.1　　D.$\frac{\sqrt{2}}{2}$

答案　D　由题图可知,带电粒子在铝板上方的轨迹半径为下方轨迹半径的 2 倍;由洛伦兹力提供向心力:$qvB=\frac{mv^2}{R}$,得$v=\frac{qBR}{m}$;其动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{q^2B^2R^2}{2m}$,故磁感应强度 $B=\sqrt{\frac{2mE_k}{q^2R^2}}$,$\frac{B_1}{B_2}=\sqrt{\frac{E_{k1}}{E_{k2}}}\cdot\frac{R_2}{R_1}=\frac{\sqrt{2}}{2}$,选项 D 正确。

审题指导

题干关键语句	挖掘隐含条件
铝板上方和下方分别有垂直于图平面的匀强磁场(未画出)。一带电粒子从紧贴铝板上表面的 P 点垂直于铝板向上射出	带电粒子在垂直磁场的平面内做匀速圆周运动,所以铝质薄平板上下带电粒子的运动轨迹是两个半圆
从 Q 点穿越铝板后到达 PQ 的中点 O	说明上下两个半圆的半径之比是 2∶1
动能损失一半	说明在铝质薄平板上下带电粒子的动能之比是 2∶1

3.(2014 浙江理综,20,6 分)(多选)如图 1 所示,两根光滑平行导轨水平放置,间距为 L,其间有竖直向下的匀强磁场,磁感应强度为 B。垂直于导轨水平对称放置一根均匀金属棒。从 $t=0$ 时刻起,棒上有如图 2 所示的持续交变电流 I,周期为 T,最大值为 I_m,图 1 中 I 所示方向为电流正方向。则金属棒　(　　)

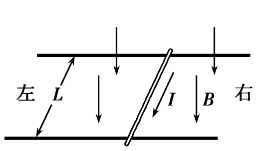


图 1

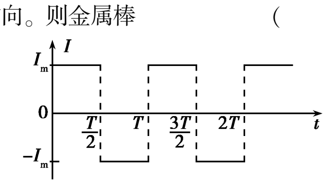


图 2

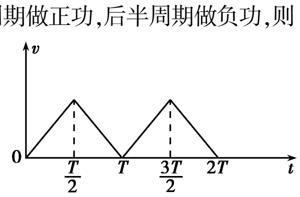
A.一直向右移动

B.速度随时间周期性变化

C.受到的安培力随时间周期性变化

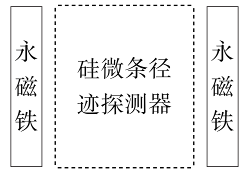
D.受到的安培力在一个周期内做正功

答案　ABC　根据题意得出 v-t 图像如图所示,金属棒一直向右运动,A 正确。速度随时间做周期性变化,B 正确。据$F_安=BIL$及左手定则可判定,$F_安$大小不变,方向做周期性变化,则 C 项正确。$F_安$在前半周期做正功,后半周期做负功,则 D 项错。



评析　题中"从 $t=0$ 时刻起,棒上有如题图 2 所示的持续交变电流"中"有"字较模糊,易引起歧义,有可能理解成动生电情况。

4.(2014 课标Ⅱ,20,6 分)(多选)图为某磁谱仪部分构件的示意图。图中,永磁铁提供匀强磁场,硅微条径迹探测器可以探测粒子在其中运动的轨迹。宇宙射线中有大量的电子、正电子和质子。当这些粒子从上部垂直进入磁场时,下列说法正确的是　(　　)



A.电子与正电子的偏转方向一定不同

B.电子与正电子在磁场中运动轨迹的半径一定相同

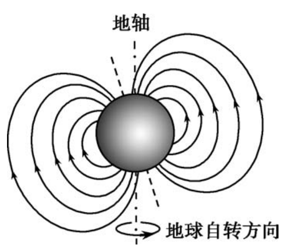
C.仅依据粒子运动轨迹无法判断该粒子是质子还是正电子

D.粒子的动能越大,它在磁场中运动轨迹的半径越小

答案　AC　在同一匀强磁场中,各粒子进入磁场时速度方向相同,但速度大小关系未知。由左手定则可知电子与正电子进入磁场时所受洛伦兹力方向相反,偏转方向必相反,故 A 正确。因 $r=\frac{mv}{qB}$,各粒子虽 q 相同,但 v 关系未知,故 m 相同、v 不同时轨迹半径不同,而当 r 相同时只能表明 mv 相同,不能确定 m 的关系,故 B 错误、C 正确。由 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$、$r=\frac{mv}{qB}$ 得 $r=\frac{\sqrt{2mE_k}}{qB}$,可见当 E_k 越大时粒子轨迹半径越大,故 D 错误。

审题指导　本题考查带电粒子垂直射入磁场后的偏转问题,不要受"硅微条径迹探测器"这个名称的影响。

5.(2016 北京理综,17,6 分)中国宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中最早记载了地磁偏角:"以磁石磨针锋,则能指南,然常微偏东,不全南也。"进一步研究表明,地球周围地磁场的磁感线分布示意如图。结合上述材料,下列说法不正确的是　(　　)



A.地理南、北极与地磁场的南、北极不重合

B.地球内部也存在磁场,地磁南极在地理北极附近

C.地球表面任意位置的地磁场方向都与地面平行

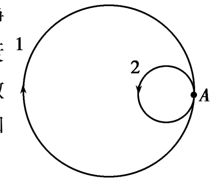
D.地磁场对射向地球赤道的带电宇宙射线粒子有力的作用

答案　C　由题意可知,地理南、北极与地磁场的南、北极不重合,存在磁偏角,A 正确。磁感线是闭合的,再由图可推知地球内部存在磁场,地磁南极在地理北极附近,故 B 正确。只有赤道上方附近的磁感线与地面平行,故 C 错误。射向地球赤道的带电宇宙射线粒子的运动方向与地磁场方向不平行,故地磁场对其有力的作用,这是磁场的基本性质,故 D 正确。选 C。

审题指导　题图往往提供解题的关键信息,所以要仔细观察,挖掘有用信息。

评析　本题考查地磁场的分布情况,属于容易题。

6.(2015 北京理综,17,6 分)实验观察到,静止在匀强磁场中 A 点的原子核发生 β 衰变,衰变产生的新核与电子恰在纸面内做匀速圆周运动,运动方向和轨迹示意如图。则　(　　)



A.轨迹1是电子的,磁场方向垂直纸面向外

B.轨迹2是电子的,磁场方向垂直纸面向外

C.轨迹1是新核的,磁场方向垂直纸面向里

D.轨迹2是新核的,磁场方向垂直纸面向里

答案　D　由静止的原子核发生β衰变后产生的新核和电子做匀速圆周运动的方向相反及原子核衰变前后动量守恒得$m_e v_e - m_{核} v_{核}=0$,粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径$r=\frac{mv}{qB}$,因为$q_e<q_{核}$,所以$r_e>r_{核}$,故轨迹1是电子的,轨迹2是新核的,根据左手定则可判定磁场方向垂直纸面向里,故D项正确。

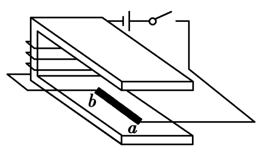
7.(2018北京理综,18,6分)某空间存在匀强磁场和匀强电场。一个带电粒子(不计重力)以一定初速度射入该空间后,做匀速直线运动;若仅撤除电场,则该粒子做匀速圆周运动。下列因素与完成上述两类运动无关的是　(　　)

A.磁场和电场的方向　　B.磁场和电场的强弱

C.粒子的电性和电量　　D.粒子入射时的速度

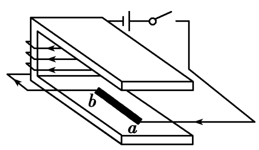
答案　C　本题考查带电粒子在电、磁场中的运动。不计重力的带电粒子,在电场和磁场的复合场中做匀速直线运动,则一定满足关系$Eq=qvB$①;若撤去电场后,粒子做匀速圆周运动,仅需满足洛伦兹力充当向心力,即$qvB=m\frac{v^2}{r}$②,综合①②可知,粒子的电性和电量与能否完成题述两类运动无关,C对。

8.(2017上海单科,11,4分)如图,一导体棒ab静止在U形铁芯的两臂之间。电键闭合后导体棒受到的安培力方向　(　　)



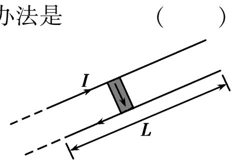
A.向上　　B.向下　　C.向左　　D.向右

答案　D　本题考查电流的磁效应、安培力及左手定则。根据图中的电流方向,由安培定则知U形铁芯下端为N极,上端为S极,ab中的电流方向由$a\to b$,由左手定则可知导体棒受到的安培力方向向右,选项D正确。



思路分析　绕有线圈的U形铁芯为电磁铁,据通过线圈的电流方向,确定U形铁芯的磁极,再通过左手定则确定安培力的方向。

9.(2011课标,18,6分)(多选)电磁轨道炮工作原理如图所示。待发射弹体可在两平行轨道之间自由移动,并与轨道保持良好接触。电流I从一条轨道流入,通过导电弹体后从另一条轨道流回。轨道电流可形成在弹体处垂直于轨道面的磁场(可视为匀强磁场),磁感应强度的大小与I成正比。通电的弹体在轨道上受到安培力的作用而高速射出。现欲使弹体的出射速度增加至原来的2倍,理论上可采用的办法是　(　　)



A.只将轨道长度L变为原来的2倍

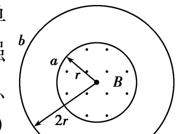
B.只将电流I增加至原来的2倍

C.只将弹体质量减至原来的一半

D.将弹体质量减至原来的一半,轨道长度L变为原来的2倍,其他量不变

答案　BD　磁感应强度$B=kI$。对弹体应用动能定理:$F_{安}L=\frac{1}{2}mv^2-0$,推得$v=\sqrt{\frac{2F_{安}L}{m}}=\sqrt{\frac{2BId\cdot L}{m}}=\sqrt{\frac{2kI^2dL}{m}}$($d$为轨道宽度),欲使$v$增加至原来的2倍,由上式可知,可以使$I$增加至原来的2倍,B正确,也可以使$m$减为原来的一半,$L$变为原来的2倍,故D正确。

10.(2017江苏单科,1,3分)如图所示,两个单匝线圈a、b的半径分别为r和$2r$。圆形匀强磁场B的边缘恰好与a线圈重合,则穿过a、b两线圈的磁通量之比为　(　　)



A.1∶1　　B.1∶2

C.1∶4　　D.4∶1

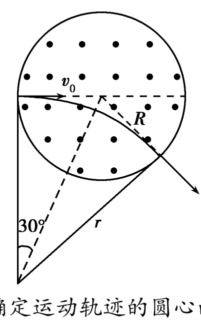
答案　A　磁通量$\Phi=B\cdot S$,其中B为磁感应强度,S为与B垂直的有效面积。因为是同一磁场,B相同,且有效面积相同,$S_a=S_b$,故$\Phi_a=\Phi_b$。选项A正确。

易错点评　虽然两线圈面积不同,但是有效面积相等。

11.(2013课标Ⅱ,17,6分)空间有一圆柱形匀强磁场区域,该区域的横截面的半径为R,磁场方向垂直于横截面。一质量为m、电荷量为$q(q>0)$的粒子以速率v_0沿横截面的某直径射入磁场,离开磁场时速度方向偏离入射方向60°。不计重力,该磁场的磁感应强度大小为　(　　)

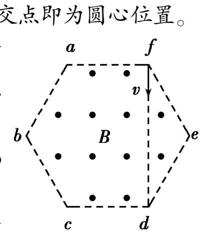
A.$\frac{\sqrt{3}mv_0}{3qR}$　　B.$\frac{mv_0}{qR}$　　C.$\frac{\sqrt{3}mv_0}{qR}$　　D.$\frac{3mv_0}{qR}$

答案　A　若磁场方向向外,带电粒子在磁场中运动轨迹如图所示,由几何关系可知,其运动的轨迹半径$r=\frac{R}{\tan 30°}=\sqrt{3}R$,由洛伦兹力提供向心力,即$qv_0B=\frac{mv_0^2}{r}$知$\sqrt{3}R=\frac{mv_0}{qB}$,故匀强磁场的磁感应强度$B=\frac{\sqrt{3}mv_0}{3qR}$,若磁场方向向里可得到同样的结果。选项A正确。



解题关键　如何确定运动轨迹的圆心的位置是解题关键点,作入射点与出射点速度方向的垂线,两垂线交点即为圆心位置。

12.(2016四川理综,4,6分)如图所示,正六边形$abcdef$区域内有垂直于纸面的匀强磁场。一带正电的粒子从f点沿fd方向射入磁场区域,当速度大小为v_b时,从b点离开磁场,在磁场中运动的时间为t_b;当速度大小为v_c时,从c点离开磁场,在磁场中运动的时间为t_c,不计粒子重力。则　(　　)



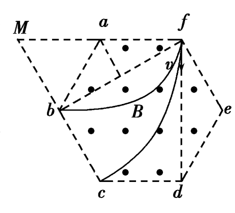
A.$v_b:v_c=1:2,t_b:t_c=2:1$

B.$v_b:v_c=2:1,t_b:t_c=1:2$

C.$v_b:v_c=2:1,t_b:t_c=2:1$

D.$v_b:v_c=1:2,t_b:t_c=1:2$

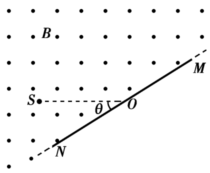
答案　A　由定圆心的方法知,粒子以v_b射入时轨迹圆心在a点,半径为正六边形边长L;粒子以v_c射入时轨迹圆心在M点,半径为$2L$;由半径公式$r=\frac{mv}{qB}$可得$v_b:v_c=r_b:r_c=1:2$,由



几何图形可看出,两个圆弧轨迹所对圆心角分别是 120°、60°,所以$t_b:t_c=2:1$,A 项正确。

方法技巧 处理粒子在磁场中做圆周运动问题的基本方法是:定圆心,画轨迹,由几何关系求半径,再由半径公式求粒子的速度、电荷量、质量、磁感应强度等,最后找圆心角求时间。

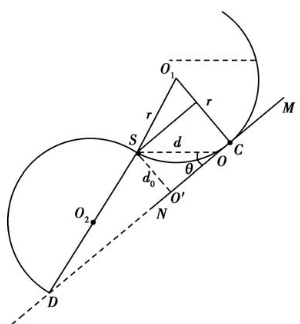
13.(2015 四川理综,7,6 分)(多选)如图所示,S 处有一电子源,可向纸面内任意方向发射电子,平板 MN 垂直于纸面。在纸面内的长度$L=9.1$ cm,中点 O 与 S 间的距离$d=4.55$ cm,MN 与 SO 直线的夹角为 θ,板所在平面有电子源的一侧区域有方向垂直于纸面向外的匀强磁场,磁感应强度$B=2.0\times10^{-4}$ T。电子质量$m=9.1\times10^{-31}$ kg,电荷量 $e=-1.6\times10^{-19}$ C,不计电子重力。电子源发射速度$v=1.6\times10^{6}$ m/s的一个电子,该电子打在板上可能位置的区域的长度为 l,则 ( )



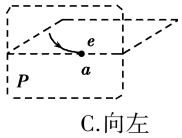
A.$\theta=90°$时,$l=9.1$ cm B.$\theta=60°$时,$l=9.1$ cm

C.$\theta=45°$时,$l=4.55$ cm D.$\theta=30°$时,$l=4.55$ cm

答案 **AD** 如图,S 到 MN 的距离 $d_0=d\sin\theta$,因电子在磁场中沿逆时针方向转动,则电子打在 MN 上最上端的位置对应于电子运动轨迹与 MN 的切点,电子打在 MN 上最下端的位置对应于到 S 的距离等于电子运动轨迹直径的点(若 $OD>\frac{1}{2}MN$,则最下端位置为 N)。因电子运动轨迹的半径 $r=\frac{mv}{|e|B}=4.55$ cm。由图中几何关系有 $O'C=\sqrt{r^2-(r-d_0)^2}$,$O'D=\sqrt{(2r)^2-d_0^2}$。当 $\theta=90°$时,$O'D$ 取得最小值$\sqrt{3}r$,此时 $OD=O'D>\frac{L}{2}$,从而有 $l=NC=ON+O'C-d\cos\theta=\frac{L}{2}+\sqrt{r^2-(r-d_0)^2}-d\cos\theta$。当 $\theta=90°$时,$l=9.1$ cm,当 $\theta=60°$时,$l=6.78$ cm,当 $\theta=45°$时,$l=5.68$ cm,当 $\theta=30°$时,$l=4.55$ cm。故可知 A、D 正确,B、C 错误。



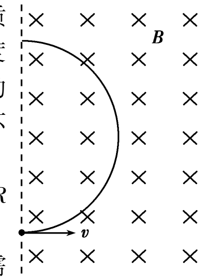
14.(2015 海南单科,1,3 分)如图,a 是竖直平面 P 上的一点。P 前有一条形磁铁垂直于 P,且 S 极朝向 a 点。P 后一电子在偏转线圈和条形磁铁的磁场的共同作用下,在水平面内向右弯曲经过 a 点。在电子经过 a 点的瞬间,条形磁铁的磁场对该电子的作用力的方向 ( )



A.向上 B.向下 C.向左 D.向右

答案 **A** P 前有一条形磁铁垂直于 P,且 S 极朝向 a 点,条形磁铁在 a 点的磁场垂直于竖直平面向外,在电子经过 a 点的瞬间,由左手定则可知该电子所受洛伦兹力方向向上,A 对,B、C、D 错。

15.(2016 北京理综,22,16 分)如图所示,质量为 m、电荷量为 q 的带电粒子,以初速度 v 沿垂直磁场方向射入磁感应强度为 B 的匀强磁场,在磁场中做匀速圆周运动。不计带电粒子所受重力。



(1)求粒子做匀速圆周运动的半径 R 和周期 T;

(2)为使该粒子做匀速直线运动,还需要同时存在一个与磁场方向垂直的匀强电场,求电场强度 E 的大小。

答案 (1)$\frac{mv}{qB}$ $\frac{2\pi m}{qB}$ (2)vB

解析 (1)洛伦兹力提供向心力,有$f=qvB=m\frac{v^2}{R}$

带电粒子做匀速圆周运动的半径 $R=\frac{mv}{qB}$

匀速圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$

(2)粒子受电场力 $F=qE$,洛伦兹力 $f=qvB$。粒子做匀速直线运动,则 $qE=qvB$

场强 E 的大小 $E=vB$

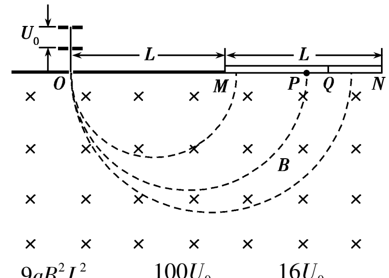
易错点拨 直接写出半径 R 和周期 T 的结果,缺乏依据和推理,造成失分,值得特别注意。

16.(2015 江苏单科,15,16 分)一台质谱仪的工作原理如图所示,电荷量均为$+q$、质量不同的离子飘入电压为 U_0 的加速电场,其初速度几乎为零。这些离子经加速后通过狭缝 O 沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场,最后打在底片上。已知放置底片的区域 $MN=L$,且 $OM=L$。某次测量发现 MN 中左侧$\frac{2}{3}$区域 MQ 损坏,检测不到离子,但右侧$\frac{1}{3}$区域 QN 仍能正常检测到离子。在适当调节加速电压后,原本打在 MQ 的离子即可在 QN 检测到。

(1)求原本打在 MN 中点 P 的离子质量 m;

(2)为使原本打在 P 的离子能打在 QN 区域,求加速电压 U 的调节范围;

(3)为了在 QN 区域将原本打在 MQ 区域的所有离子检测完整,求需要调节 U 的最少次数。(取 $\lg 2=0.301$,$\lg 3=0.477$,$\lg 5=0.699$)



答案 (1)$\frac{9qB^2L^2}{32U_0}$ (2)$\frac{100U_0}{81}\leqslant U\leqslant\frac{16U_0}{9}$ (3)3 次

解析 (1)离子在电场中加速,$qU_0=\frac{1}{2}mv^2$

在磁场中做匀速圆周运动,$qvB=m\frac{v^2}{r}$,解得 $r=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU_0}{q}}$

代入 $r=\frac{3}{4}L$,解得 $m=\frac{9qB^2L^2}{32U_0}$

(2)由(1)知,$U=\dfrac{16U_0r^2}{9L^2}$

离子打在 Q 点 $r=\dfrac{5}{6}L, U=\dfrac{100U_0}{81}$

离子打在 N 点 $r=L, U=\dfrac{16U_0}{9}$

则电压的范围为$\dfrac{100U_0}{81}\leqslant U\leqslant\dfrac{16U_0}{9}$

(3)由(1)可知,$r\propto\sqrt{U}$

由题意知,第 1 次调节电压到 U_1,使原本打在 Q 点的离子打在 N 点,$\dfrac{L}{\frac{5}{6}L}=\dfrac{\sqrt{U_1}}{\sqrt{U_0}}$

此时,原本半径为 r_1 的打在 Q_1 的离子打在 Q 上

$\dfrac{\frac{5}{6}L}{r_1}=\dfrac{\sqrt{U_1}}{\sqrt{U_0}}$

解得 $r_1=\left(\dfrac{5}{6}\right)^2L$

第 2 次调节电压到 U_2,使原本打在 Q_1 的离子打在 N 点,原本半径为 r_2 的打在 Q_2 的离子打在 Q 上,则

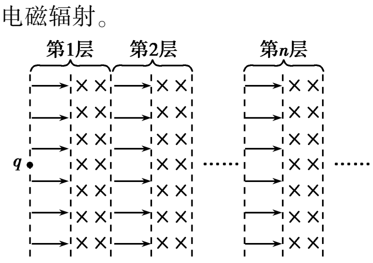
$\dfrac{L}{r_1}=\dfrac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_0}}, \dfrac{\frac{5}{6}L}{r_2}=\dfrac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_0}}$,解得 $r_2=(\dfrac{5}{6})^3L$

同理,第 n 次调节电压,有 $r_n=(\dfrac{5}{6})^{n+1}L$

检测完整,有 $r_n\leqslant\dfrac{L}{2}$,解得 $n\geqslant\dfrac{\lg 2}{\lg\frac{6}{5}}-1\approx 2.8$

最少次数为 3 次。

17.(2015 天津理综,12,20 分) 现代科学仪器常利用电场、磁场控制带电粒子的运动。真空中存在着如图所示的多层紧密相邻的匀强电场和匀强磁场,电场与磁场的宽度均为 d。电场强度为 E,方向水平向右;磁感应强度为 B,方向垂直纸面向里。电场、磁场的边界互相平行且与电场方向垂直。一个质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子在第 1 层电场左侧边界某处由静止释放,粒子始终在电场、磁场中运动,不计粒子重力及运动时的电磁辐射。



(1)求粒子在第 2 层磁场中运动时速度 v_2 的大小与轨迹半径 r_2;

(2)粒子从第 n 层磁场右侧边界穿出时,速度的方向与水平方向的夹角为 θ_n,试求 $\sin\theta_n$;

(3)若粒子恰好不能从第 n 层磁场右侧边界穿出,试问在其他条件不变的情况下,也进入第 n 层磁场,但比荷较该粒子大的粒子能否穿出该层磁场右侧边界,请简要推理说明之。

答案 (1)$2\sqrt{\dfrac{qEd}{m}}$ $\dfrac{2}{B}\sqrt{\dfrac{mEd}{q}}$

(2)$B\sqrt{\dfrac{nqd}{2mE}}$ (3)见解析

解析 (1)粒子在进入第 2 层磁场时,经过两次电场加速,中间穿过磁场时洛伦兹力不做功。

由动能定理,有

$2qEd=\dfrac{1}{2}mv_2^2$ ①

由①式解得

$v_2=2\sqrt{\dfrac{qEd}{m}}$ ②

粒子在第 2 层磁场中受到的洛伦兹力充当向心力,有

$qv_2B=m\dfrac{v_2^2}{r_2}$ ③

由②③式解得

$r_2=\dfrac{2}{B}\sqrt{\dfrac{mEd}{q}}$ ④

(2)设粒子在第 n 层磁场中运动的速度为 v_n,轨迹半径为 r_n(各量的下标均代表粒子所在层数,下同)。

$nqEd=\dfrac{1}{2}mv_n^2$ ⑤

$qv_nB=m\dfrac{v_n^2}{r_n}$ ⑥

粒子进入第 n 层磁场时,速度的方向与水平方向的夹角为 α_n,从第 n 层磁场右侧边界穿出时速度方向与水平方向的夹角为 θ_n,粒子在电场中运动时,垂直于电场线方向的速度分量不变,有

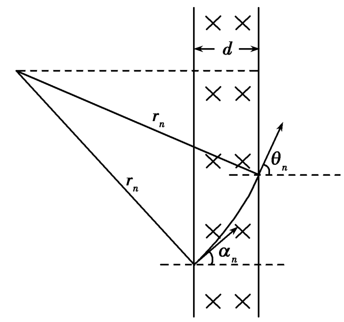


图 1

$v_{n-1}\sin\theta_{n-1}=v_n\sin\alpha_n$ ⑦

由图 1 看出

$r_n\sin\theta_n-r_n\sin\alpha_n=d$ ⑧

由⑥⑦⑧式得

$r_n\sin\theta_n-r_{n-1}\sin\theta_{n-1}=d$ ⑨

由⑨式看出 $r_1\sin\theta_1, r_2\sin\theta_2, \cdots, r_n\sin\theta_n$ 为一等差数列,公差为 d,可得

$r_n\sin\theta_n=r_1\sin\theta_1+(n-1)d$ ⑩

当 $n=1$ 时,由图 2 看出

$r_1\sin\theta_1=d$ ⑪

由⑤⑥⑩⑪式得

$\sin\theta_n=B\sqrt{\dfrac{nqd}{2mE}}$ ⑫

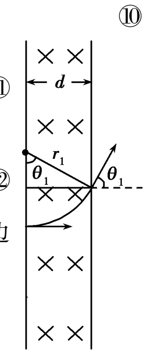


图 2

(3)若粒子恰好不能从第 n 层磁场右侧边界穿出,则

$\theta_n=\dfrac{\pi}{2}$

$\sin\theta_n=1$

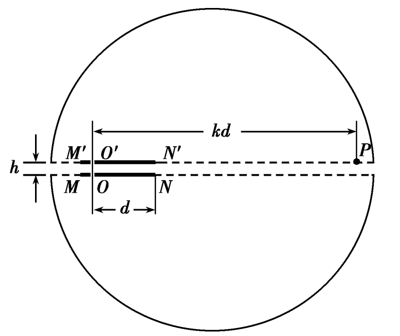
在其他条件不变的情况下,换用比荷更大的

粒子，设其比荷为$\frac{q'}{m'}$，假设能穿出第 n 层磁场右侧边界，粒子穿出时速度方向与水平方向的夹角为 θ_n'，由于$\frac{q'}{m'}>\frac{q}{m}$

则导致 $\sin\theta_n'>1$

说明 θ_n'不存在，即原假设不成立。所以比荷较该粒子大的粒子不能穿出该层磁场右侧边界。

18.（2015 重庆理综，9，18 分）图为某种离子加速器的设计方案。两个半圆形金属盒内存在相同的垂直于纸面向外的匀强磁场。其中 MN 和 $M'N'$是间距为 h 的两平行极板，其上分别有正对的两个小孔 O 和 O'，$O'N'=ON=d$，P 为靶点，$O'P=kd$（k 为大于 1 的整数）。极板间存在方向向上的匀强电场，两极板间电压为 U。质量为 m、带电荷量为 q 的正离子从 O 点由静止开始加速，经 O'进入磁场区域。当离子打到极板上 $O'N'$区域（含 N'点）或外壳上时将会被吸收。两虚线之间的区域无电场和磁场存在，离子可匀速穿过。忽略相对论效应和离子所受的重力。求：



（1）离子经过电场仅加速一次后能打到 P 点所需的磁感应强度大小；

（2）能使离子打到 P 点的磁感应强度的所有可能值；

（3）打到 P 点的能量最大的离子在磁场中运动的时间和在电场中运动的时间。

答案　（1）$\frac{2\sqrt{2Uqm}}{qkd}$　（2）$\frac{2\sqrt{2nUqm}}{qkd}$（$n=1,2,3,\cdots,k^2-1$）

（3）$\frac{(2k^2-3)\pi mkd}{2\sqrt{2Uqm(k^2-1)}}$　$h\sqrt{\frac{2(k^2-1)m}{Uq}}$

解析　（1）离子经过电场仅加速一次后能打到 P 点时，轨道半径 $R_1=\frac{kd}{2}$

根据牛顿第二定律有：

$B_1qv_1=m\frac{v_1^2}{R_1}$

对离子在电场中加速的过程应用动能定理有：

$qU=\frac{1}{2}mv_1^2$

解得：$B_1=\frac{2\sqrt{2Uqm}}{qkd}$

（2）假设离子在电场中加速了 n 次后恰好打在 P 点，则有

$nqU=\frac{1}{2}mv_2^2$

$Bqv_2=m\frac{v_2^2}{R}$

$R=\frac{kd}{2}$

解得 $B=\frac{2\sqrt{2nUqm}}{qkd}$

若离子在电场中加速一次后恰好打在 N'。同理可得此时的磁感应强度

$B_0=\frac{2\sqrt{2Uqm}}{qd}$。由题意可知，$B<B_0$ 时离子才可能打在 P 点上。

由$\frac{2\sqrt{2nUqm}}{qkd}<\frac{2\sqrt{2Uqm}}{qd}$解得：$n<k^2$，可见 n 的最大值应为 k^2-1，即 n 的取值应为 $n=1,2,3,\cdots,k^2-1$。

（3）$n=k^2-1$ 对应的离子就是打在 P 点的能量最大的离子。

离子在磁场中运动的圈数为 $k^2-\frac{3}{2}$，故在磁场中运动的时间 $t_1=\left(k^2-\frac{3}{2}\right)T=\left(k^2-\frac{3}{2}\right)\times\frac{2\pi m}{Bq}=\frac{(2k^2-3)\pi mkd}{2\sqrt{2Uqm(k^2-1)}}$。

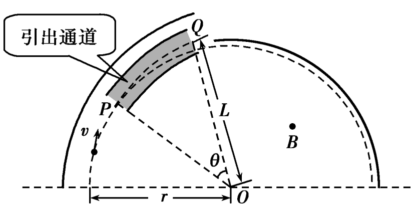
设离子在电场中运动的时间为 t_2，则有：

$(k^2-1)h=\frac{1}{2}\frac{qU}{hm}t_2^2$

解得：$t_2=h\sqrt{\frac{2(k^2-1)m}{Uq}}$。

19.（2015 浙江理综，25，22 分）使用回旋加速器的实验需要把离子束从加速器中引出，离子束引出的方法有磁屏蔽通道法和静电偏转法等。质量为 m，速度为 v 的离子在回旋加速器内旋转，旋转轨道是半径为 r 的圆，圆心在 O 点，轨道在垂直纸面向外的匀强磁场中，磁感应强度为 B。

为引出离子束，使用磁屏蔽通道法设计引出器。引出器原理如图所示，一对圆弧形金属板组成弧形引出通道，通道的圆心位于 O'点（O'点图中未画出）。引出离子时，令引出通道内磁场的磁感应强度降低，从而使离子从 P 点进入通道，沿通道中心线从 Q 点射出。已知 OQ 长度为 L，OQ 与 OP 的夹角为 θ。



（1）求离子的电荷量 q 并判断其正负；

（2）离子从 P 点进入，Q 点射出，通道内匀强磁场的磁感应强度应降为 B'，求 B'；

（3）换用静电偏转法引出离子束，维持通道内的原有磁感应强度 B 不变，在内外金属板间加直流电压，两板间产生径向电场，忽略边缘效应。为使离子仍从 P 点进入，Q 点射出，求通道内引出轨迹处电场强度 E 的方向和大小。

答案　（1）$\frac{mv}{Br}$　正电荷

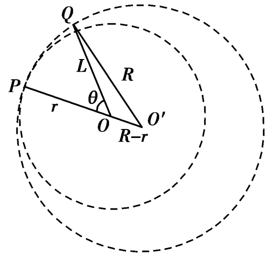
（2）$\frac{mv(2r-2L\cos\theta)}{q(r^2+L^2-2rL\cos\theta)}$

（3）方向沿径向向外　$Bv-\frac{mv^2(2r-2L\cos\theta)}{q(r^2+L^2-2rL\cos\theta)}$

解析　（1）离子做圆周运动 $Bqv=\frac{mv^2}{r}$　①

$q=\frac{mv}{Br}$，带正电荷　②

（2）如图所示



$O'Q=R,OQ=L,O'O=R-r$

引出轨迹为圆弧,有 $B'qv=\frac{mv^2}{R}$ ③

$R=\frac{mv}{qB'}$ ④

根据几何关系得

$R=\frac{r^2+L^2-2rL\cos\theta}{2r-2L\cos\theta}$ ⑤

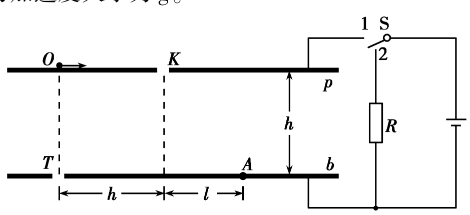
$B'=\frac{mv}{qR}=\frac{mv(2r-2L\cos\theta)}{q(r^2+L^2-2rL\cos\theta)}$ ⑥

(3)电场强度方向沿径向向外 ⑦

引出轨迹为圆弧,有 $Bqv-Eq=\frac{mv^2}{R}$ ⑧

$E=Bv-\frac{mv^2(2r-2L\cos\theta)}{q(r^2+L^2-2rL\cos\theta)}$ ⑨

20.(2014四川理综,11,19分)如图所示,水平放置的不带电的平行金属板 p 和 b 相距 h,与图示电路相连,金属板厚度不计,忽略边缘效应。p 板上表面光滑,涂有绝缘层,其上 O 点右侧相距 h 处有小孔 K;b 板上有小孔 T,且 O、T 在同一条竖直线上,图示平面为竖直平面。质量为 m、电荷量为 $-q(q>0)$ 的静止粒子被发射装置(图中未画出)从 O 点发射,沿 p 板上表面运动时间 t 后到达 K 孔,不与板碰撞地进入两板之间。粒子视为质点,在图示平面内运动,电荷量保持不变,不计空气阻力,重力加速度大小为 g。



(1)求发射装置对粒子做的功;

(2)电路中的直流电源内阻为 r,开关S接"1"位置时,进入板间的粒子落在 b 板上的 A 点,A 点与过 K 孔竖直线的距离为 l。此后将开关S接"2"位置,求阻值为 R 的电阻中的电流强度;

(3)若选用恰当直流电源,电路中开关S接"1"位置,使进入板间的粒子受力平衡,此时在板间某区域加上方向垂直于图面的、磁感应强度大小合适的匀强磁场[磁感应强度 B 只能在 $0\sim B_m=\frac{(\sqrt{21}+5)m}{(\sqrt{21}-2)qt}$ 范围内选取],使粒子恰好从 b 板的 T 孔飞出,求粒子飞出时速度方向与 b 板板面的夹角的所有可能值(可用反三角函数表示)。

答案 (1)$\frac{mh^2}{2t^2}$ (2)$\frac{mh}{q(R+r)}\left(g-\frac{2h^3}{l^2t^2}\right)$

(3)$0<\theta\leqslant\arcsin\frac{2}{5}$

解析 (1)设粒子在 p 板上做匀速直线运动的速度为 v_0,有

$h=v_0t$ ①

设发射装置对粒子做的功为 W,由动能定理得

$W=\frac{1}{2}mv_0^2$ ②

联立①②可得 $W=\frac{mh^2}{2t^2}$ ③

说明:①②式各2分,③式1分

(2)S接"1"位置时,电源的电动势 E_0 与板间电势差 U 有

$E_0=U$ ④

板间产生匀强电场的场强为 E,粒子进入板间时有水平方向的速度 v_0,在板间受到竖直方向的重力和电场力作用而做类平抛运动,设加速度为 a,运动时间为 t_1,有

$U=Eh$ ⑤

$mg-qE=ma$ ⑥

$h=\frac{1}{2}at_1^2$ ⑦

$l=v_0t_1$ ⑧

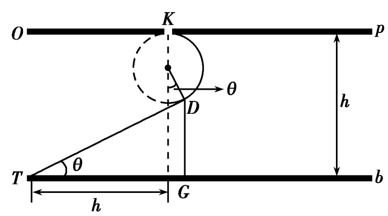
S接"2"位置,则在电阻 R 上流过的电流 I 满足

$I=\frac{E_0}{R+r}$ ⑨

联立①④~⑨得 $I=\frac{mh}{q(R+r)}\left(g-\frac{2h^3}{l^2t^2}\right)$ ⑩

说明:④~⑩式各1分

(3)由题意知此时在板间运动的粒子重力与电场力平衡,当粒子从 K 进入板间后立即进入磁场做匀速圆周运动,如图所示,粒子从 D 点出磁场区域后沿 DT 做匀速直线运动,DT 与 b 板上表面的夹角为题目所求夹角 θ。磁场的磁感应强度 B 取最大值时的夹角 θ 为最大值 θ_m。设粒子做匀速圆周运动的半径为 R,有



$qv_0B=\frac{mv_0^2}{R}$ ⑪

过 D 点作 b 板的垂线与 b 板的上表面交于 G,由几何关系有

$\overline{DG}=h-R(1+\cos\theta)$ ⑫

$\overline{TG}=h+R\sin\theta$ ⑬

$\tan\theta=\frac{\sin\theta}{\cos\theta}=\frac{\overline{DG}}{\overline{TG}}$ ⑭

联立①⑪~⑭,将 $B=B_m$ 代入,求得

$\theta_m=\arcsin\frac{2}{5}$ ⑮

当 B 逐渐减小,粒子做匀速圆周运动的半径 R 随之变大,D 点向 b 板靠近,DT 与 b 板上表面的夹角 θ 也越变越小,当 D 点无限接近于 b 板上表面时,粒子离开磁场后在板间几乎沿着 b 板上表面运动而从 T 孔飞出板间区域,此时 $B_m>B>0$ 满足题目要求,夹角 θ 趋近 θ_0,即

$\theta_0=0$ ⑯

则题目所求为 $0<\theta\leqslant\arcsin\frac{2}{5}$ ⑰

说明⑪~⑰式各1分

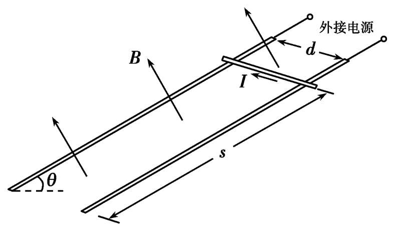
评析 本题是一道力、电综合题，主要考查带电粒子在电场中的加速、偏转以及在复合场中的运动。题目涉及的知识点较多，综合性强，难度较大。特别是第(3)问更是要求在透彻理解题意的基础上，画出粒子的运动轨迹，找到临界条件，并结合一定的数学知识求解，但本题所涉及知识均为高中阶段的主干知识，且问题设置层层递进，梯度合理，具有一定的难度和较好的区分度，仍不失为一道好题。

21. (2018 江苏单科,13,15 分) 如图所示，两条平行的光滑金属导轨所在平面与水平面的夹角为 θ，间距为 d。导轨处于匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，方向与导轨平面垂直。质量为 m 的金属棒被固定在导轨上，距底端的距离为 s，导轨与外接电源相连，使金属棒通有电流。金属棒被松开后，以加速度 a 沿导轨匀加速下滑，金属棒中的电流始终保持恒定，重力加速度为 g。求下滑到底端的过程中，金属棒

(1)末速度的大小 v；

(2)通过的电流大小 I；

(3)通过的电荷量 Q。



答案 (1) $\sqrt{2as}$ (2) $\dfrac{m(g\sin\theta-a)}{dB}$

(3) $\dfrac{\sqrt{2as}\,m(g\sin\theta-a)}{dBa}$

解析 (1)匀加速直线运动 $v^2=2as$

解得 $v=\sqrt{2as}$

(2)安培力 $F_{安}=IdB$

金属棒所受合力 $F=mg\sin\theta-F_{安}$

由牛顿运动定律得 $F=ma$

解得 $I=\dfrac{m(g\sin\theta-a)}{dB}$

(3)运动时间 $t=\dfrac{v}{a}$

电荷量 $Q=It$

解得 $Q=\dfrac{\sqrt{2as}\,m(g\sin\theta-a)}{dBa}$

试题评析 情景新颖、题设巧妙

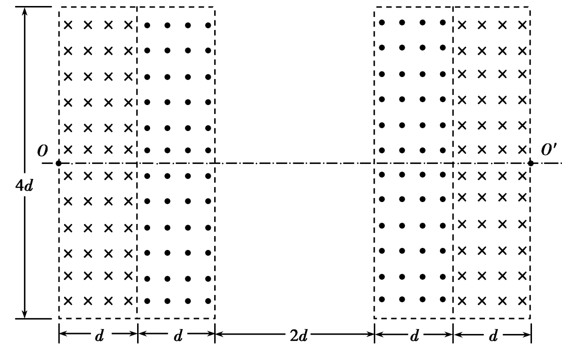
此题主要考查运动学公式和牛顿第二定律的简单应用，但应用情景为导体在磁场中导轨上的运动。情景新颖，题设巧妙，过程简单，是一道考查考生基础知识掌握水平的好题，本题难度为易。

22. (2018 江苏单科,15,16 分) 如图所示，真空中四个相同的矩形匀强磁场区域，高为 $4d$，宽为 d，中间两个磁场区域间隔为 $2d$，中轴线与磁场区域两侧相交于 O、O' 点，各区域磁感应强度大小相等。某粒子质量为 m、电荷量为 $+q$，从 O 沿轴线射入磁场。当入射速度为 v_0 时，粒子从 O 上方 $\dfrac{d}{2}$ 处射出磁场。取 $\sin 53°=0.8$，$\cos 53°=0.6$。

(1)求磁感应强度大小 B；

(2)入射速度为 $5v_0$ 时，求粒子从 O 运动到 O' 的时间 t；

(3)入射速度仍为 $5v_0$，通过沿轴线 OO' 平移中间两个磁场(磁场不重叠)，可使粒子从 O 运动到 O' 的时间增加 Δt，求 Δt 的最大值。



答案 (1) $\dfrac{4mv_0}{qd}$ (2) $\left(\dfrac{53\pi+72}{180}\right)\dfrac{d}{v_0}$ (3) $\dfrac{d}{5v_0}$

解析 本题考查带电粒子在匀强磁场中的运动。

(1)粒子圆周运动的半径 $r_0=\dfrac{mv_0}{qB}$

由题意知 $r_0=\dfrac{d}{4}$，解得 $B=\dfrac{4mv_0}{qd}$

(2)设粒子在第一个矩形磁场中的偏转角为 α

由 $d=r\sin\alpha$，得 $\sin\alpha=\dfrac{4}{5}$，即 $\alpha=53°$

在一个矩形磁场中的运动时间 $t_1=\dfrac{\alpha}{360°}\cdot\dfrac{2\pi m}{qB}$，解得 $t_1=\dfrac{53\pi d}{720v_0}$

直线运动的时间 $t_2=\dfrac{2d}{v}$，解得 $t_2=\dfrac{2d}{5v_0}$

则 $t=4t_1+t_2=\left(\dfrac{53\pi+72}{180}\right)\dfrac{d}{v_0}$

(3)将中间两磁场分别向中央移动距离 x

粒子向上的偏移量 $y=2r(1-\cos\alpha)+x\tan\alpha$

由 $y\leqslant 2d$，解得 $x\leqslant\dfrac{3}{4}d$

则当 $x_m=\dfrac{3}{4}d$ 时，Δt 有最大值

粒子直线运动路程的最大值 $s_m=\dfrac{2x_m}{\cos\alpha}+(2d-2x_m)=3d$

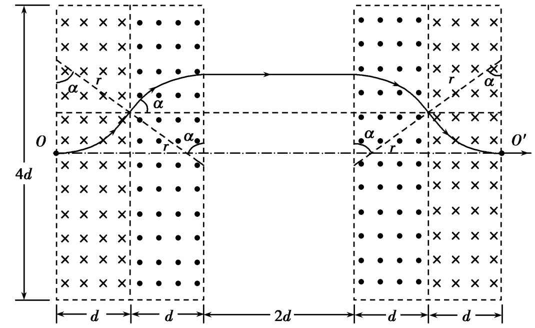
增加路程的最大值 $\Delta s_m=s_m-2d=d$

增加时间的最大值 $\Delta t_m=\dfrac{\Delta s_m}{v}=\dfrac{d}{5v_0}$

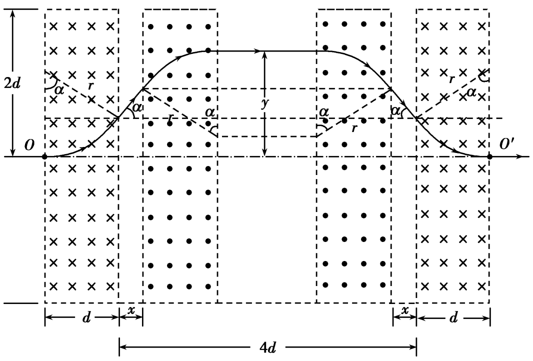
思路点拨 带电粒子在匀强磁场中的运动

(1)粒子以 v_0 射入磁场，从 O 点正上方 $\dfrac{d}{2}$ 处射出，说明粒子仅在最左边的磁场中做半径为 $r_0=\dfrac{d}{4}$ 的圆周运动，轨迹为半圆。

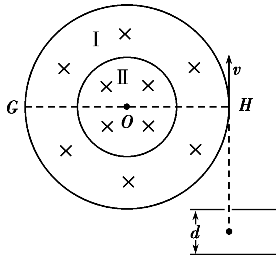
(2)粒子以 $5v_0$ 射入磁场，运动半径 $r=\dfrac{mv}{qB}=5r_0=\dfrac{5}{4}d$。故可推知运动轨迹如图所示。



(3)将中间两磁场分别向中央平移距离 x,则粒子以 $5v_0$ 射入后,其运动轨迹如图所示。



23.(2015 山东理综,24,20 分)如图所示,直径分别为 D 和 $2D$ 的同心圆处于同一竖直面内,O 为圆心,GH 为大圆的水平直径。两圆之间的环形区域(Ⅰ区)和小圆内部(Ⅱ区)均存在垂直圆面向里的匀强磁场。间距为 d 的两平行金属极板间有一匀强电场,上极板开有一小孔。一质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子由小孔下方 $\frac{d}{2}$ 处静止释放,加速后粒子以竖直向上的速度 v 射出电场,由 H 点紧靠大圆内侧射入磁场。不计粒子的重力。



(1)求极板间电场强度的大小;

(2)若粒子运动轨迹与小圆相切,求Ⅰ区磁感应强度的大小;

(3)若Ⅰ区、Ⅱ区磁感应强度的大小分别为 $\frac{2mv}{qD}$、$\frac{4mv}{qD}$,粒子运动一段时间后再次经过 H 点,求这段时间粒子运动的路程。

答案 (1)$\frac{mv^2}{qd}$ (2)$\frac{4mv}{qD}$或$\frac{4mv}{3qD}$ (3)$5.5\pi D$

解析 (1)设极板间电场强度的大小为 E,对粒子在电场中的加速运动,由动能定理得

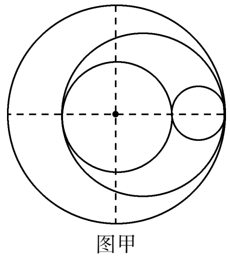
$qE\frac{d}{2}=\frac{1}{2}mv^2$ ①

由①式得

$E=\frac{mv^2}{qd}$ ②

(2)设Ⅰ区磁感应强度的大小为 B,粒子做圆周运动的半径为 R,由牛顿第二定律得 $qvB=m\frac{v^2}{R}$ ③

如图甲所示,粒子运动轨迹与小圆相切有两种情况。若粒子轨迹与小圆外切,由几何关系得 $R=\frac{D}{4}$ ④



图甲

联立③④式得

$B=\frac{4mv}{qD}$ ⑤

若粒子轨迹与小圆内切,由几何关系得

$R=\frac{3D}{4}$ ⑥

联立③⑥式得

$B=\frac{4mv}{3qD}$ ⑦

(3)设粒子在Ⅰ区和Ⅱ区做圆周运动的半径分别为 R_1、R_2,由题意可知,Ⅰ区和Ⅱ区磁感应强度的大小分别为 $B_1=\frac{2mv}{qD}$、$B_2=\frac{4mv}{qD}$,由牛顿第二定律得

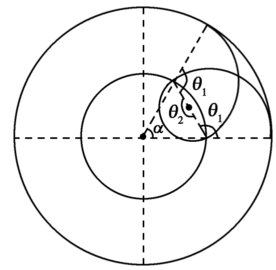
$qvB_1=m\frac{v^2}{R_1}$,$qvB_2=m\frac{v^2}{R_2}$ ⑧

代入数据得

$R_1=\frac{D}{2}$,$R_2=\frac{D}{4}$ ⑨

设粒子在Ⅰ区和Ⅱ区做圆周运动的周期分别为 T_1、T_2,由运动学公式得 $T_1=\frac{2\pi R_1}{v}$,$T_2=\frac{2\pi R_2}{v}$ ⑩

据题意分析,粒子两次与大圆相切的时间间隔内,运动轨迹如图乙所示,根据对称可知,Ⅰ区两段圆弧所对圆心角相同,设为 θ_1,Ⅱ区内圆弧所对圆心角设为 θ_2,圆弧和大圆的两个切点与圆心 O 连线间的夹角设为 α,由几何关系得



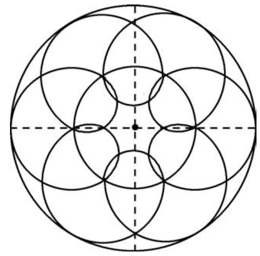
图乙

$\theta_1=120°$ ⑪

$\theta_2=180°$ ⑫

$\alpha=60°$ ⑬

粒子重复上述交替运动回到 H 点,轨迹如图丙所示,设粒子在Ⅰ区和Ⅱ区做圆周运动的时间分别为 t_1、t_2,可得



图丙

$t_1=\frac{360°}{\alpha}\times\frac{\theta_1\times2}{360°}T_1$,$t_2=\frac{360°}{\alpha}\times\frac{\theta_2}{360°}T_2$ ⑭

设粒子运动的路程为 s,由运动学公式得

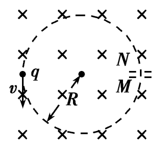
$s=v(t_1+t_2)$ ⑮

联立⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮式得

$s=5.5\pi D$ ⑯

24.(2014 天津理综,12,20 分)同步加速器在粒子物理研究中有重要的应用,其基本原理简化为如图所示的模型。M、N 为两块中心开有小孔的平行金属板。质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒

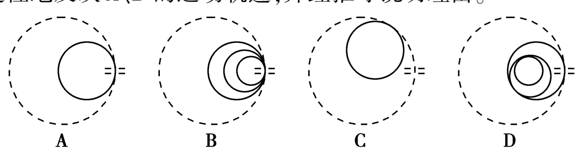
子 A(不计重力)从 M 板小孔飘入板间,初速度可视为零。每当 A 进入板间,两板的电势差变为 U,粒子得到加速,当 A 离开 N 板时,两板的电荷量均立即变为零。两板外部存在垂直纸面向里的匀强磁场,A 在磁场作用下做半径为 R 的圆周运动,R 远大于板间距离。A 经电场多次加速,动能不断增大,为使 R 保持不变,磁场必须相应地变化。不计粒子加速时间及其做圆周运动产生的电磁辐射,不考虑磁场变化对粒子速度的影响及相对论效应。求



(1)A 运动第 1 周时磁场的磁感应强度 B_1 的大小;

(2)在 A 运动第 n 周的时间内电场力做功的平均功率$\overline{P}_n$;

(3)若有一个质量也为 m、电荷量为 $+kq$(k 为大于 1 的整数)的粒子 B(不计重力)与 A 同时从 M 板小孔飘入板间,A、B 初速度均可视为零,不计两者间的相互作用,除此之外,其他条件均不变。下图中虚线、实线分别表示 A、B 的运动轨迹。在 B 的轨迹半径远大于板间距离的前提下,请指出哪个图能定性地反映 A、B 的运动轨迹,并经推导说明理由。



答案　(1)$\frac{1}{R}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$　(2)$\frac{qU}{\pi R}\sqrt{\frac{nqU}{2m}}$　(3)见解析

解析　(1)设 A 经电场第 1 次加速后速度为 v_1,由动能定理得

$$qU=\frac{1}{2}mv_1^2-0 \quad ①$$

A 在磁场中做匀速圆周运动,所受洛伦兹力充当向心力

$$qv_1B_1=\frac{mv_1^2}{R} \quad ②$$

由①②得

$$B_1=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{2mU}{q}} \quad ③$$

(2)设 A 经 n 次加速后的速度为 v_n,由动能定理得

$$nqU=\frac{1}{2}mv_n^2-0 \quad ④$$

设 A 做第 n 次圆周运动的周期为 T_n,有

$$T_n=\frac{2\pi R}{v_n} \quad ⑤$$

设在 A 运动第 n 周的时间内电场力做功为 W_n,则

$$W_n=qU \quad ⑥$$

在该段时间内电场力做功的平均功率为

$$\overline{P}_n=\frac{W_n}{T_n} \quad ⑦$$

由④⑤⑥⑦解得

$$\overline{P}_n=\frac{qU}{\pi R}\sqrt{\frac{nqU}{2m}} \quad ⑧$$

(3)A 图能定性地反映 A、B 运动的轨迹。

A 经过 n 次加速后,设其对应的磁感应强度为 B_n,A、B 的周期分别为 T_n、T',综合②、⑤式并分别应用 A、B 的数据得

$$T_n=\frac{2\pi m}{qB_n}$$

$$T'=\frac{2\pi m}{kqB_n}=\frac{T_n}{k}$$

由上可知,T_n 是 T'的 k 倍,所以 A 每绕行 1 周,B 就绕行 k 周。由于电场只在 A 通过时存在,故 B 仅在与 A 同时进入电场时才被加速。

经 n 次加速后,A、B 的速度分别为 v_n 和 v_n',考虑到④式

$$v_n=\sqrt{\frac{2nqU}{m}}$$

$$v_n'=\sqrt{\frac{2nkqU}{m}}=\sqrt{k}v_n$$

由题设条件并考虑到⑤式,对 A 有

$$T_nv_n=2\pi R$$

设 B 的轨迹半径为 R',有

$$T'v_n'=2\pi R'$$

比较上述两式得

$$R'=\frac{R}{\sqrt{k}}$$

上式表明,运动过程中 B 的轨迹半径始终不变。

由以上分析可知,两粒子运动的轨迹如图 A 所示。

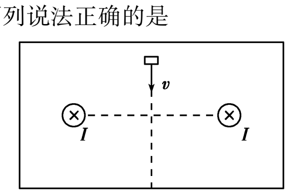
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 255

时间:60 分钟　分值:100 分

一、选择题(每小题 6 分,共 60 分)

1.(2020 届河南洛阳质检,6)粗糙绝缘水平面上垂直穿过两根长直导线,俯视图如图所示,两根导线中通有相同的电流,电流方向垂直纸面向里。水平面上一带电滑块(电性未知)以某一初速度 v 沿两导线连线的中垂线入射,运动过程中滑块始终未脱离水平面。下列说法正确的是　(　　)

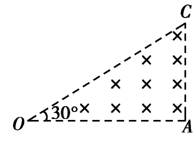


A.滑块可能做加速直线运动　B.滑块可能做匀速直线运动

C.滑块可能做曲线运动　D.滑块一定做减速运动

答案　D　根据安培定则可知,在两导线连线的垂直平分线上,上方的磁场方向水平向右,而下方的磁场方向水平向左,根据左手定则可以知道,滑块受到的洛伦兹力方向垂直于纸面向外或向里,故滑块所受的支持力减小或增大,滑块所受的滑动摩擦力与速度方向相反,滑块一定做减速运动,故 A、B、C 错误,D 正确。

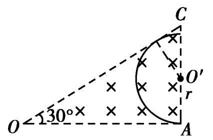
2.(2018 东北三校联考,16)如图所示,直角三角形 ACO 区域内存在匀强磁场,磁场方向垂直纸面向里,磁感应强度大小为 B,其中 $\angle AOC=30°$,AC 边的长度为 L。质量为 m,电荷量为 $-q$ 的带电粒子(不计重力)从 A 点沿 AO 方向射入磁场。要使粒子能从 AC 边射出磁场,该粒子的速度不能超过　(　　)



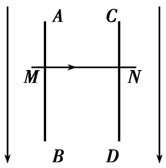
A. $\frac{(2-\sqrt{3})qBL}{m}$　　　　B. $\frac{\sqrt{3}(2-\sqrt{3})qBL}{m}$

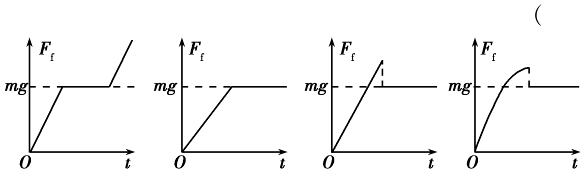
C. $\frac{(2+\sqrt{3})qBL}{m}$　　　　D. $\frac{\sqrt{3}(2+\sqrt{3})qBL}{m}$

答案　B　粒子在磁场中做匀速圆周运动,根据题意画出粒子以能从 AC 边射出的最大速度运动时的运动轨迹,如图所示。根据几何关系可知 $\frac{r}{\cos 30°}+r=L$,由洛伦兹力提供向心力得,$qvB=m\frac{v^2}{r}$,$r=\frac{mv}{qB}$,联立可得 $v=\frac{\sqrt{3}(2-\sqrt{3})qBL}{m}$,选项 B 正确。



3.(2019 江西上饶六校一联,17)如图所示,在竖直向下且随时间均匀增大的匀强磁场中,有两根竖直放置的平行轨道 AB、CD,导轨处放有质量为 m 的金属棒 MN,棒与导轨间的动摩擦因数为 μ,现从 $t=0$ 时刻起,给棒通以图示方向的恒定电流,若金属棒与导轨始终垂直,则如图所示的表示棒所受的摩擦力随时间变化的四幅图中,正确的是　　(　　)

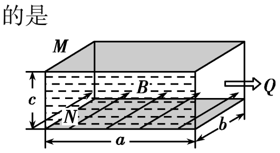




A　　　　B　　　　C　　　　D

答案　C　对图中金属棒进行受力分析,金属棒受到竖直向下的重力 G,$G=mg$,在通电之前,金属棒做自由落体运动,与导轨间没有压力,所以不存在摩擦力;给金属棒通电后,由左手定则可知安培力垂直纸面向里,则受到的摩擦力 $F_f=\mu BIL$,又因为 $B=kt$,所以 $F_f=\mu ILkt$,与 t 成正比;当 $G=F_f$ 时,此时金属棒有一个速度,因此不会立即停下来,摩擦力仍然在增大,直到金属棒完全停下来,此后一直保持 $G=F_f$。C 项正确。

4.(2020 届东北三校联考,7)(多选)为了测量某化工厂的污水排放量,技术人员在该厂的排污管末端安装了如图所示的流量计。该装置由绝缘材料制成,长、宽、高分别为 $a=1$ m、$b=0.2$ m、$c=0.2$ m,左、右两端开口,在垂直于前、后面的方向加磁感应强度为 $B=1.25$ T 的匀强磁场,在上、下两个面的内侧固定有金属板 M、N 作为电极。污水充满装置以某一速度从左向右匀速流经该装置时,用电压表测得两个电极间的电压 $U=1$ V。污水流过该装置时受到阻力作用,阻力 $F_f=kLv$,其中比例系数 $k=15$ N·s/m^2,L 为污水沿流速方向的长度,v 为污水的流速。下列说法中正确的是　　(　　)



A.金属板 M 电势不一定高于金属板 N 的电势,因为污水中负离子较多

B.污水中离子浓度的高低对电压表的示数也有一定影响

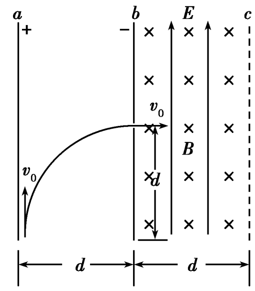
C.污水的流量(单位时间内流出的污水体积)$Q=0.16$ m^3/s

D.为使污水匀速通过该装置,左、右两侧管口应施加的压强差为 $\Delta p=1\ 500$ Pa

答案　CD　本题考查带电粒子在磁场中的运动,体现了科学思维中科学推理要素。

根据左手定则,知负离子所受的洛伦兹力方向向下,则负离子向下偏转,N 板带负电,M 板带正电,则 N 板的电势比 M 板电势低,故 A 错误;最终离子在电场力和洛伦兹力作用下平衡,有 $qvB=q\frac{U}{c}$,解得 $U=vBc$,与离子浓度无关,故 B 错误;污水的流速 $v=\frac{U}{Bc}$,则流量 $Q=vbc=\frac{Ub}{B}=\frac{1\times0.2}{1.25}$ m^3/s$=0.16$ m^3/s,故 C 正确;污水的流速 $v=\frac{U}{Bc}=\frac{1}{1.25\times0.2}$ m/s$=4$ m/s,污水流过该装置时受到的阻力 $F_f=kLv=kav=15\times1\times4$ N$=60$ N,为使污水匀速通过该装置,左、右两侧管口应施加的压力差是 60 N,则压强差为 $\Delta p=\frac{F}{S}=\frac{60}{0.2\times0.2}$ Pa$=1\ 500$ Pa,故 D 正确。

5.(2018 河北定州期中,20)(多选)如图所示,竖直放置的两块很大的平行金属板 a、b,相距为 d,a、b 间的电场强度为 E,今有一带正电的微粒从 a 板下边缘以初速度 v_0 竖直向上射入电场,当它飞到 b 板时,速度大小也是 v_0,方向变为水平方向,刚好从高度也为 d 的狭缝穿过 b 板进入 bc 区域,bc 区域的宽度也为 d,所加电场强度的大小为 E,方向竖直向上,磁感应强度方向垂直纸面向里,磁感应强度大小等于 $\frac{E}{v_0}$,重力加速度为 g,则下列说法正确的是　　(　　)



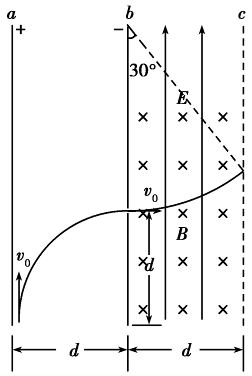
A.微粒在 ab 区域的运动时间为 $\frac{v_0}{g}$

B.微粒在 bc 区域中做匀速圆周运动,圆周半径 $r=2d$

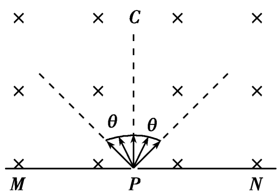
C.微粒在 bc 区域中做匀速圆周运动,运动时间为 $\frac{\pi d}{6v_0}$

D.微粒在 ab、bc 区域中运动的总时间为 $\frac{(\pi+6)d}{3v_0}$

答案　ABD　将微粒在电场中的运动沿水平和竖直方向正交分解,水平分运动为初速度为零的匀加速直线运动,竖直分运动为末速度为零的匀减速直线运动,根据运动学公式有,水平方向:$v_0=at$,$d=\frac{v_0^2}{2a}$,竖直方向:$0=v_0-gt$,解得:$a=g$,$t=\frac{v_0}{g}$,故 A 正确;微粒在复合场中运动时,由于电场力与重力平衡,故微粒做匀速圆周运动,洛伦兹力提供向心力,有:$qv_0B=m\frac{v_0^2}{r}$,解得:$r=\frac{mv_0}{qB}$,联立解得:$r=2d$,故 B 正确;由于 $r=2d$,画出轨迹,如图所示,由几何关系得,微粒在复合场中的运动轨迹所对的圆心角为 30°,故在复合场中的运动时间为:$t_2=\frac{T}{12}=\frac{\pi m}{6qB}=\frac{\pi d}{3v_0}$,故 C 错误;微粒在电场中运动时间为:$t_1=\frac{d}{v_x}=\frac{d}{\frac{v_0}{2}}=\frac{2d}{v_0}$,故微粒在 ab、bc 区域中运动的总时间为:$t=t_1+t_2=\frac{(\pi+6)d}{3v_0}$,故 D 正确。



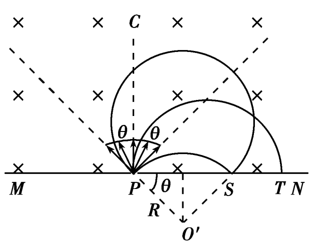
6.(2019 湖南郴州质检一,8) 如图所示,在足够大的屏 MN 的上方有磁感应强度为 B 的匀强磁场,磁场方向垂直纸面向里,P 为屏上一小孔,PC 与 MN 垂直,一束质量为 m、电荷量为 $-q$ 的粒子(不计重力)以相同的速率 v 从 P 处射入磁场区域,粒子入射方向在与磁场垂直的平面里,且分散在与 PC 夹角为 θ 的范围内,则在屏 MN 上被粒子打中区域的长度为　(　　)



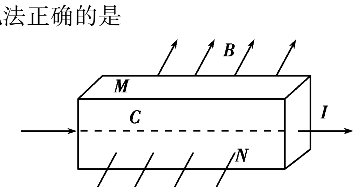
A.$\dfrac{2mv(1-\cos\theta)}{qB}$　　B.$\dfrac{2mv\cos\theta}{qB}$

C.$\dfrac{2mv(1-\sin\theta)}{qB}$　　D.$\dfrac{2mv}{qB}$

答案　A　如图所示,S、T 之间的距离为屏 MN 上被粒子打中区域的长度。由 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$ 得 $R=\dfrac{mv}{qB}$,则 $PS=2R\cos\theta=\dfrac{2mv\cos\theta}{qB}$,$PT=2R=\dfrac{2mv}{qB}$,所以 $ST=\dfrac{2mv(1-\cos\theta)}{qB}$,故 A 项正确。



7.(2020 届山西四校联考,8) 如图所示,有一金属块放在垂直于表面 C 的匀强磁场中,当有稳恒电流沿平行平面 C 的方向通过时,下列说法正确的是　(　　)



A.金属块上表面 M 的电势高于下表面 N 的电势

B.电流增大时,M、N 两表面间的电压 U 增大

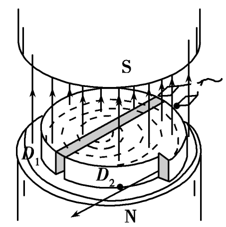
C.磁感应强度增大时,M、N 两表面间的电压 U 减小

D.金属块中单位体积内的自由电子数越少,M、N 两表面间的电压 U 越小

答案　B　本题考查了带电粒子在磁场中运动的实例——霍尔效应,体现了科学思维中的科学推理要素。

由左手定则可知,金属块通有图示电流时,自由电子受到向上的洛伦兹力,向 M 面偏转,故上表面 M 电势低于下表面 N 的电势,选项 A 错误;最终电子在洛伦兹力和电场力作用下处于平衡,即 $evB=\dfrac{U}{d}e$,则有 $U=Bvd$,由此可知,磁感应强度增大时,M、N 两表面间的电压增大,选项 C 错误;由电流的微观表达式 $I=neSv$ 可知,电流增大说明自由电子定向移动速率 v 增大,所以 M、N 两表面间的电压增大,选项 B 正确;电流一定时,金属块中单位体积内的自由电子数 n 越少,自由电子定向移动的速率一定越大,所以 M、N 两表面间的电压越大,选项 D 错误。

8.(2019 百校联盟联考,18) 如图所示为回旋加速器示意图,利用回旋加速器对 $^2_1$H 粒子进行加速,此时 D 形盒中的磁场的磁感应强度大小为 B,D 形盒缝隙间电场变化周期为 T。忽略粒子在 D 形盒缝隙间的运动时间和相对论效应,下列说法正确的是　(　　)



A.保持 B 和 T 不变,该回旋加速器可以加速质子

B.仅调整磁场的磁感应强度大小为 B',该回旋加速器仍可以加速 $^2_1$H 粒子

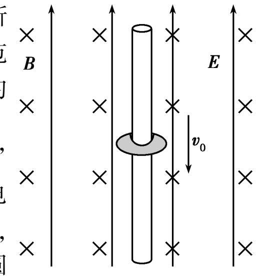
C.保持 B 和 T 不变,该回旋加速器可以加速 $^4_2$He 粒子,且在回旋加速器中运动的时间与 $^2_1$H 粒子的相等

D.保持 B 和 T 不变,该回旋加速器可以加速 $^4_2$He 粒子,加速后的最大动能与 $^2_1$H 粒子的相等

答案　C　本题考查了带电粒子在复合场运动的实例——回旋加速器,体现了科学思维中的科学论证要素。

D 形盒缝隙间电场变化周期 T 等于被加速的 $^2_1$H 在磁场中运动的周期,即 $T=\dfrac{2\pi\cdot 2m}{qB}$,而质子在磁场中的运动周期为 $T_H=\dfrac{2\pi m}{qB}$,则该回旋加速器不可以加速质子,选项 A 错误;仅调整磁场的磁感应强度大小为 B',则 $^2_1$H 在磁场中的运动周期将要变化,则该回旋加速器不可以加速 $^2_1$H 粒子,选项 B 错误;$^4_2$He 在磁场中的运动的周期 $T_{He}=\dfrac{2\pi\cdot 4m}{2qB}=\dfrac{2\pi\cdot 2m}{qB}=T$,则保持 B 和 T 不变,该回旋加速器可以加速 $^4_2$He 粒子,且在回旋加速器中两粒子运动的半径也相同,则粒子运动的时间与 $^2_1$H 粒子的相等,选项 C 正确;根据 $qv_mB=m\dfrac{v_m^2}{R}$,$E_{km}=\dfrac{1}{2}mv_m^2=\dfrac{B^2q^2R^2}{2m}\propto\dfrac{q^2}{m}$,可知 $^4_2$He 加速后的最大动能与 $^2_1$H 粒子的不相等,选项 D 错误。

9.(2019 安徽合肥一检)(多选) 如图所示,一根固定的绝缘竖直长杆位于范围足够大且相互正交的匀强电场和匀强磁场中,电场强度大小为 $E=\dfrac{2mg}{q}$,磁感应强度大小为 B。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电小圆环套在杆上,环与杆间的动摩擦因数为 μ。现使圆环以初速度 v_0 向下运动,经时间 t_0,圆环回到出发点。若圆环回到出发点之前已经开始做匀速直线运动,不计空气阻力,重力加速度为 g。则下列说法中正确的是　(　　)



A.环经过$\frac{t_0}{2}$时间刚好到达最低点

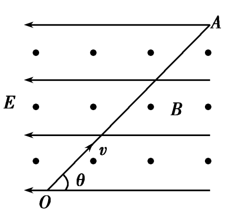
B.环的最大加速度为$a_m=g+\frac{\mu qv_0B}{m}$

C.环在t_0时间内损失的机械能为$\frac{1}{2}m(v_0^2-\frac{m^2g^2}{\mu^2q^2B^2})$

D.环下降过程和上升过程系统因摩擦产生的内能相等

答案 BC 圆环下降时$Eq-mg+\mu Bqv=ma_1$,圆环下降的加速度大小为$a_1=g+\frac{\mu Bqv}{m}$,圆环上升时$Eq-mg-\mu Bqv=ma_2$,上升的加速度大小为$a_2=g-\frac{\mu Bqv}{m}$,下降过程的平均加速度大小大于上升过程的平均加速度大小,所以下降的时间小于上升的时间,A错误;圆环的最大加速度为$a_m=g+\frac{\mu Bqv_0}{m}$,B正确;圆环在回到出发点前已经开始做匀速直线运动,其速度为$v_1=\frac{mg}{\mu Bq}$,故圆环在运动过程中损失的机械能为$Q=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}m(v_0^2-\frac{m^2g^2}{\mu^2B^2q^2})$,C正确;圆环在下降过程中受到的平均摩擦力大小大于上升回到出发点过程中受到的平均摩擦力的大小,所以圆环在下降过程中损失的机械能大于上升回到出发点过程中损失的机械能,D错误。

10.(2019黔东南三模,19)(多选)质量为m、电荷量为q的微粒以与水平方向成θ角的速度v从O点进入方向如图所示的正交的匀强电场和匀强磁场组成的叠加场区,该微粒在电场力、洛伦兹力和重力的共同作用下,恰好沿直线运动到A,下列说法正确的是 ( )



A.该微粒一定带负电荷

B.微粒从O到A的运动可能是匀变速运动

C.该磁场的磁感应强度大小为$\frac{mg}{qv\cos\theta}$

D.该电场的场强为$Bv\cos\theta$

答案 AC 本题考查了带电粒子在复合场中的运动,体现了物理观念中运动与相互作用要素。

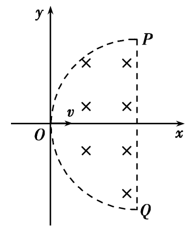
若微粒带正电荷,它受竖直向下的重力mg、水平向左的电场力qE和垂直OA斜向右下方的洛伦兹力qvB,知微粒不能做直线运动,据此可知微粒应带负电荷,它受竖直向下的重力mg、水平向右的电场力qE和垂直OA斜向左上方的洛伦兹力qvB,又知微粒恰好沿着直线运动到A,可知微粒应该做匀速直线运动,故选项A正确,B错误;由平衡条件得$qvB\cos\theta=mg$,$qvB\sin\theta=qE$,得磁场的磁感应强度$B=\frac{mg}{qv\cos\theta}$,电场的场强$E=Bv\sin\theta$,故选项C正确,D错误。

二、非选择题(共40分)

11.(10分)(2019广西百色摸底调研,24)如图所示,半径为R的半圆形区域内有垂直于坐标平面向里的匀强磁场,磁场的磁感应强度大小为B,圆心的坐标为$(R,0)$,圆弧与y轴相切于坐标原点。在坐标原点有一粒子源,可以在坐标平面内射出质量为m,电荷量为q的带负电的粒子,不计粒子的重力。求:

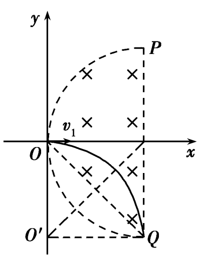
(1)若粒子源沿x轴正方向射出不同速度的粒子,要使所有粒子都不从直径PQ射出磁场,则粒子的速度最大为多少?

(2)若粒子源向坐标平面内各个方向射出速率相同的粒子,要使所有粒子都不从直径PQ射出磁场,粒子射出的速度最大又为多少?



答案 (1)$\frac{qBR}{m}$ (2)$\frac{qBR}{2m}$

解析 (1)若粒子源沿x轴正方向射出不同速度的粒子,要使所有粒子不从直径PQ射出磁场,则以最大速度运动的粒子运动轨迹如图所示:

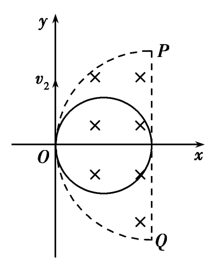


由几何关系可知,粒子做圆周运动的半径$r_1=R$

由牛顿第二定律可知$qv_1B=m\frac{v_1^2}{r_1}$

解得$v_1=\frac{qBR}{m}$

(2)若粒子源向坐标平面内各个方向射出速率相同的粒子,粒子做圆周运动的半径相同,则最容易从PQ射出的粒子在粒子源的射出方向沿y轴正方向,该粒子刚好不从PQ射出的轨迹如图所示:



由几何关系可知,粒子做圆周运动的半径$r_2=\frac{1}{2}R$

由牛顿第二定律可知$qv_2B=m\frac{v_2^2}{r_2}$

解得$v_2=\frac{qBR}{2m}$

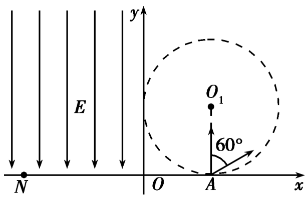
12.(14分)(2019湖南岳阳教学质量检测一)空间中有一直角坐标系,其第一象限在圆心为O_1、半径为R、边界与x轴和y轴相切的圆形区域内,有垂直于纸面向里的匀强磁场(图中未画出),磁感应强度大小为B;第二象限中存在方向竖直向下的场强为E的匀强电场。现有一群质量为m、电荷量为q的带正电的粒子从圆形区域边界与x轴的切点A处沿纸面上的

不同方向射入磁场中，如图所示。已知粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径均为 R，其中沿 AO_1 方向射入的粒子恰好到达 x 轴上的 N 点，不计粒子的重力和它们之间的相互作用力，求：

（1）粒子射入磁场时的速度大小及 O、N 间的距离；

（2）速度方向与 AO_1 夹角为 60°（斜向右上方）的粒子到达 y 轴时距 O 点的距离；

（3）速度方向与 AO_1 夹角为 60°（斜向右上方）的粒子到达 x 轴的时间。

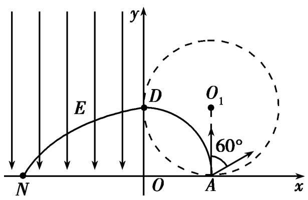


答案　见解析

解析　（1）设粒子射入磁场时的速度大小为 v，因在磁场中做匀速圆周运动的半径为 R，由牛顿第二定律得 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$，

得 $v=\dfrac{qBR}{m}$

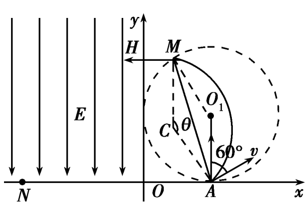
如图所示，因粒子的轨迹半径是 R，故沿 AO_1 方向射入的粒子一定从与圆心等高的 D 点沿 x 轴负方向射入电场，则粒子在电场中从 D 点到 N 点做类平抛运动，有 $x=vt$



又因为 $R=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{qE}{m}\cdot t^2$

解得 $x=\sqrt{\dfrac{2qB^2R^3}{mE}}$

（2）如图所示，轨迹圆心为 C，从 M 点射出磁场，连接 O_1、M，四边形 O_1MCA 是菱形，故 CM 垂直于 x 轴，速度方向偏转角度等于圆心角 $\theta=150°$，粒子出磁场后速度方向垂直 y 轴，到达 y 轴时距 O 点距离 $y=R+R\sin 60°=R+\dfrac{\sqrt{3}}{2}R$



（3）方向与 AO_1 夹角为 60° 的粒子在磁场中运动的时间为

$t_1=\dfrac{\theta}{360°}T=\dfrac{5\pi m}{6qB}$

粒子离开磁场到 y 轴的距离 $MH=\dfrac{R}{2}$，在无场区运动的时间 $t_2=\dfrac{R}{2v}=\dfrac{m}{2qB}$

在电场中运动时

有 $y=R+\dfrac{\sqrt{3}}{2}R=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{qE}{m}\times t_3^2$

得 $t_3=\sqrt{\dfrac{(2+\sqrt{3})mR}{qE}}$

则 $t=t_1+t_2+t_3=\left(\dfrac{5\pi}{6}+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{m}{qB}+\sqrt{\dfrac{(2+\sqrt{3})mR}{qE}}$

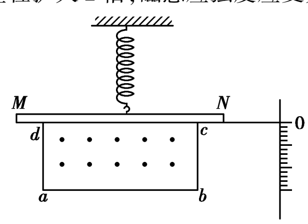
13.（16 分）**（2018 安徽皖西南名校联考，15）**如图所示为一电流表的原理示意图。质量为 m 的均质细金属棒 MN 的中点处通过一挂钩与一竖直悬挂的弹簧相连，绝缘弹簧劲度系数为 k，在矩形区域 $abcd$ 内有匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直纸面向外，与 MN 的右端 N 连接的一绝缘轻指针可指示标尺上的刻度，MN 的长度大于 ab。当 MN 中没有电流通过且处于平衡状态时，MN 与矩形区域的 cd 边重合，当 MN 中有电流通过时，指针所指刻度可表示电流大小。

（1）当电流表示数为零时，弹簧伸长多少？（重力加速度为 g）

（2）若要电流表正常工作，MN 的哪一端应与电源正极相接？

（3）若 $k=2.0$ N/m，$ab=0.20$ m，$cb=0.050$ m，$B=0.20$ T，此电流表的量程是多少？（不计通电时电流产生的磁场的作用）

（4）若将量程扩大 2 倍，磁感应强度应变为多大？



答案　（1）$\dfrac{mg}{k}$　（2）M 端　（3）0~2.5 A　（4）0.10 T

解析　（1）设电流表示数为零时，弹簧的伸长为 Δx，则有：

$mg=k\Delta x$　①

由①式得：$\Delta x=\dfrac{mg}{k}$　②

故当电流表示数为零时，弹簧伸长 $\dfrac{mg}{k}$

（2）为使电流表正常工作，作用于通有电流的金属棒 MN 的安培力必须向下，由左手定则可知金属棒中电流从 M 端流向 N 端，因此 M 端应接电源正极

故若要电流表正常工作，MN 的 M 端应接电源正极

（3）设满量程时通过 MN 的电流为 I_m，则有：

$BI_m\cdot ab+mg=k(bc+\Delta x)$　③

联立①③并代入数据得：$I_m=2.5$ A　④

故此电流表的量程是 0~2.5 A

（4）设量程扩大后，磁感应强度变为 B'，则有：

$2B'I_m\cdot ab+mg=k(bc+\Delta x)$　⑤

由①⑤得 $B'=\dfrac{k\cdot bc}{2I_m\cdot ab}$

代入数据得 $B'=0.10$ T

故若将量程扩大 2 倍，磁感应强度应变为 0.10 T

专题十一　电磁感应

探考情 悟真题

5年考情探究 真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 122

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
电磁感应现象、楞次定律	楞次定律及其应用	2019 课标Ⅲ,14,6 分	2		能量观念		★★☆
		2018 课标Ⅰ,19,6 分	3		能量观念		
		2017 课标Ⅲ,15,6 分	4		能量观念		
	电磁感应现象	2015 课标Ⅰ,19,6 分	4		模型建构		
法拉第电磁感应定律	磁通量变化产生感应电动势	2019 课标Ⅰ,20,6 分	3	电阻定律	模型建构		★★★
		2018 课标Ⅰ,17,6 分	4	欧姆定律	科学推理		
		2018 课标Ⅲ,20,6 分	3	$i-t$ 图像	模型建构		
		2017 课标Ⅰ,18,6 分	4		运动与相互作用观念		
		2019 北京理综,22,16 分	4	功率、焦耳定律	模型建构		
		2017 天津理综,3,6 分	3	闭合电路欧姆定律	科学推理		
	导体切割磁感线产生感应电动势	2017 课标Ⅱ,20,6 分	4	安培力	模型建构		
		2016 课标Ⅱ,20,6 分	4	欧姆定律	模型建构		
		2015 课标Ⅱ,15,6 分	4		科学推理		
		2015 安徽理综,19,6 分	4	欧姆定律	运动与相互作用观念		
电磁感应中的综合应用	电磁感应中的电路、图像问题	2019 课标Ⅱ,21,6 分	3	$I-t$ 图像	科学推理		★★★
		2019 课标Ⅲ,19,6 分	3	欧姆定律	科学推理		
		2018 课标Ⅱ,18,6 分	4	$i-t$ 图像	科学推理	图像法	
		2015 广东理综,35,18 分	4	安培力	运动与相互作用观念		
		2016 四川理综,7,6 分	4	闭合电路欧姆定律	科学推理		
	电磁感应中的动力学、能量问题	2016 课标Ⅰ,24,14 分	4	欧姆定律	模型建构		
		2016 课标Ⅱ,24,12 分	4	牛顿第二定律	模型建构		
		2018 天津理综,12,20 分	4	动量定理	模型建构		
		2017 天津理综,12,20 分	4	动量定理	模型建构		
		2016 天津理综,12,20 分	4	电阻定律	模型建构		
		2015 四川理综,11,19 分	4	安培力	运动与相互作用观念		

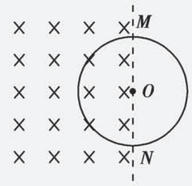
分析解读

本专题主要内容有电磁感应现象的描述、感应电流方向的判断(楞次定律、右手定则)、感应电动势大小的计算、自感现象和涡流现象等。这部分是高考考查的重点内容。在高考中,电磁感应现象多与电路、力学、能量等知识结合,综合性较高,因此,在复习时应深刻理解各知识点内容、注重训练和掌握综合性题目的分析思路和方法,还要研究与实际生活、生产科技相结合的实际应用问题,便于全面提高分析解决综合性问题和实际应用问题的能力。

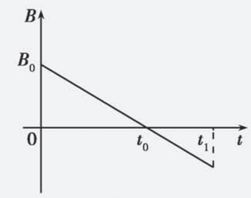
真题探秘

对应学生用书起始页码 123

（2019课标Ⅰ，20，6分）（多选）空间存在一方向与纸面垂直、大小随时间变化的匀强磁场，其边界如图（a）中虚线MN所示。一硬质细导线的电阻率为ρ、横截面积为S，将该导线做成半径为r的圆环固定在纸面内，圆心O在MN上。$t=0$时磁感应强度的方向如图（a）所示；磁感应强度B随时间t的变化关系如图（b）所示。则在$t=0$到$t=t_1$的时间间隔内（　）



图(a)



图(b)

A.圆环所受安培力的方向始终不变

B.圆环中的感应电流始终沿顺时针方向

C.圆环中的感应电流大小为$\dfrac{B_0rS}{4t_0\rho}$

D.圆环中的感应电动势大小为$\dfrac{B_0\pi r^2}{4t_0}$

创设试题情景：磁通量变化引起电磁感应现象

给定第一个条件：磁场方向和磁场变化

给定第二个条件：细导线的电阻率和横截面积

给定第三个条件：B随t的变化关系

只有确定出感应电流方向，才可用左手定则确定安培力的方向

用楞次定律确定感应电流的方向

选项设问隐含对法拉第电磁感应定律和闭合电路欧姆定律的考查

❶ 核心要点

法拉第电磁感应定律、楞次定律和闭合电路欧姆定律。

❷ 情景解读

在半个圆环中，由于磁感应强度变化导致在闭合回路中的磁通量变化，引起电磁感应现象。

❸ 思路分析

根据关键信息，由楞次定律确定感应电流方向，通过左手定则判断安培力的方向；由法拉第电磁感应定律和闭合电路欧姆定律可以求出感应电动势和感应电流的大小。

❹ 易错警示

1.推理过程注意磁感应强度的大小随时间变化，方向也在发生变化，本题虽得到感应电流方向始终沿顺时针方向，但由于磁感应强度方向变化，安培力方向变化。易错选A。

2.感应电动势中的$S_{有效}$为圆环回路在磁场中的面积，而不是圆环的实际面积。

❺ 答案

BC　详细解析见242页5年高考A组第2题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 124

考点一　电磁感应现象、楞次定律

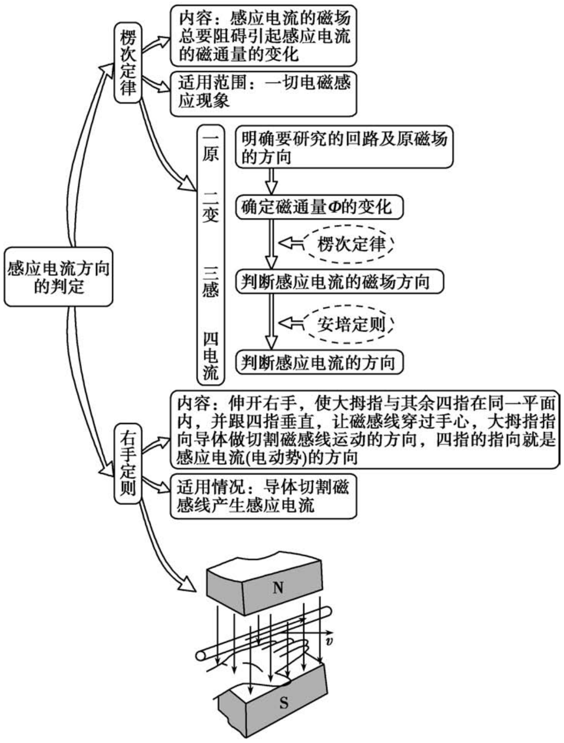
考向基础

一、电磁感应现象

电磁感应现象	当穿过闭合电路的磁通量发生变化时，电路中有感应电流产生的现象	
产生感应电流的条件	条件	穿过闭合电路的磁通量发生变化
	特例	闭合电路的一部分导体在磁场内做切割磁感线的运动
电磁感应现象的实质	电磁感应现象的实质是产生感应电动势，如果电路闭合则产生感应电流；如果电路不闭合，则只产生感应电动势，而不产生感应电流	
能量转化	发生电磁感应现象时，机械能或其他形式的能转化为电能	

二、感应电流方向的判定

	内容	适用范围
楞次定律	感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化	一切电磁感应现象
右手定则	伸开右手，使大拇指与其余四指垂直且在同一平面内，让磁感线穿过掌心，大拇指指向导体运动方向，其余四指指向就是感应电流的方向	导体切割磁感线产生感应电流



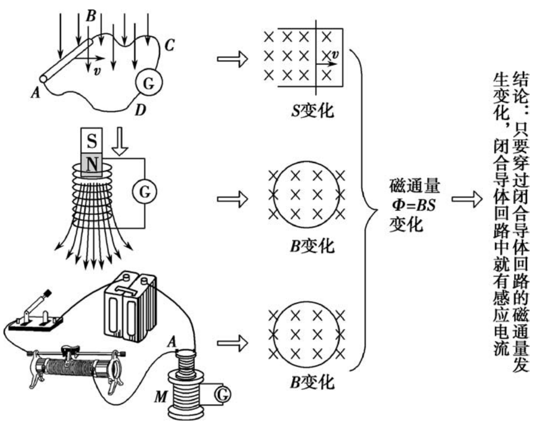
三、磁通量、磁通量的变化量、磁通量的变化率的区别

	磁通量 Φ	磁通量的变化量 $\Delta\Phi$	磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
物理意义	某时刻穿过某个面的磁感线的条数	某一段时间内穿过某个面的磁通量的变化量	穿过某个面的磁通量变化的快慢
大小	$\Phi=B\cdot S$，S是与B垂直的面的面积	$\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1$ $\Delta\Phi=B\cdot\Delta S$ $\Delta\Phi=S\cdot\Delta B$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=B\cdot\frac{\Delta S}{\Delta t}$ $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=S\cdot\frac{\Delta B}{\Delta t}$
注意	穿过某个面有方向相反的磁场，则不能直接用$\Phi=B\cdot S$求解，应考虑相反方向的磁通量抵消后所剩余的磁通量	开始时和转过180°时平面都与磁场垂直，穿过平面的磁通量是一正一负，$\Delta\Phi=-2BS$而不是0	既不表示磁通量的大小，也不表示磁通量变化的多少，实际它就是单匝线圈上产生的电动势
附注	线圈平面与磁感线平行时，$\Phi=0$，但$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$最大；线圈平面与磁感线垂直时，$\Phi$最大，但$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0$；$\Phi$、$\Delta\Phi$、$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$都与线圈匝数无关		

考向突破

考向一　电磁感应现象

常见的产生感应电流的三种情况



判断能否产生电磁感应现象，关键是看回路的磁通量是否发生了变化。磁通量的变化量$\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1$主要有下列四种形式：

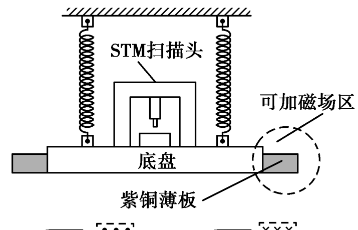
(1)S、θ不变，B改变，则$\Delta\Phi=\Delta B\cdot S\sin\theta$($\theta$为$B$与$S$的夹角)。

(2)B、θ不变，S改变，则$\Delta\Phi=B\cdot\Delta S\sin\theta$。

(3)B、S不变，θ改变，则$\Delta\Phi=B\cdot S(\sin\theta_2-\sin\theta_1)$。

(4)B、S、θ中的两个或三个量同时变化引起的磁通量变化。

例1 (2017课标Ⅰ,18,6分)扫描隧道显微镜(STM)可用来探测样品表面原子尺度上的形貌。为了有效隔离外界振动对STM的扰动，在圆底盘周边沿其径向对称地安装若干对紫铜薄板，并施加磁场来快速衰减其微小振动，如图所示。无扰动时，按下列四种方案对紫铜薄板施加恒磁场；出现扰动后，对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的方案是　　(　　)





A　　B　　C　　D

解析　由于要求有效衰减紫铜薄板的上下及左右的微小振动，则在紫铜薄板发生微小的上下或左右振动时，通过紫铜薄板横截面的磁通量应均能发生变化，由图可以看出，只有A图方案中才能使两方向上的微小振动得到有效衰减。

答案　A

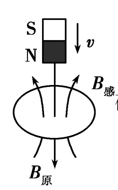
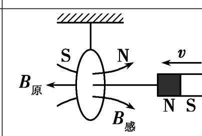
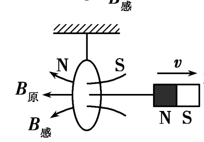
考向二　楞次定律及其应用

1.楞次定律中"阻碍"的含义

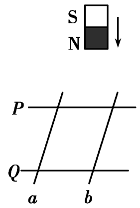
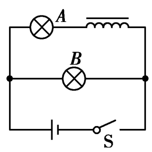
谁阻碍谁	感应电流的磁场阻碍引起感应电流的磁场(原磁场)的磁通量的变化
阻碍什么	阻碍的是磁通量的变化，而不是阻碍磁场本身
如何阻碍	当磁通量增加时，感应电流的磁场方向与原磁场的方向相反；当磁通量减小时，感应电流的磁场方向与原磁场的方向相同，即"增反减同"
结果如何	阻碍并不是阻止，只是延缓了磁通量的变化快慢，这种变化将继续进行，最终结果不受影响

2.楞次定律的推广含义

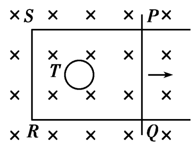
楞次定律中"阻碍"的含义可以推广为：感应电流的效果总是阻碍引起感应电流的原因，列表说明如下：

内容	例证
阻碍原磁通量变化——"增反减同"	 磁铁靠近线圈，$B_感$与$B_原$反向
阻碍相对运动——"来拒去留"	 磁铁靠近，是斥力  磁铁远离，是引力

续表

内容	例证
使回路面积有扩大或缩小的趋势——“增缩减扩”	 P、Q 是光滑固定导轨，a、b 是可动金属棒，磁铁下移，a、b 靠近
阻碍原电流的变化——“增反减同”	 合上 S，B 先亮

例 2　（2017 课标Ⅲ，15，6 分）如图，在方向垂直于纸面向里的匀强磁场中有一 U 形金属导轨，导轨平面与磁场垂直。金属杆 PQ 置于导轨上并与导轨形成闭合回路 $PQRS$，一圆环形金属线框 T 位于回路围成的区域内，线框与导轨共面。现让金属杆 PQ 突然向右运动，在运动开始的瞬间，关于感应电流的方向，下列说法正确的是　（　　）



A.$PQRS$ 中沿顺时针方向，T 中沿逆时针方向

B.$PQRS$ 中沿顺时针方向，T 中沿顺时针方向

C.$PQRS$ 中沿逆时针方向，T 中沿逆时针方向

D.$PQRS$ 中沿逆时针方向，T 中沿顺时针方向

解析　金属杆 PQ 向右运动，穿过 $PQRS$ 的磁通量增加，由楞次定律可知，$PQRS$ 中产生逆时针方向的电流。这时因为 $PQRS$ 中感应电流的作用，依据楞次定律可知，T 中产生顺时针方向的感应电流。故只有 D 项正确。

答案　D

易错点拨　对楞次定律的深度理解

线框与导轨共面且与磁场垂直。当金属杆 PQ 向右运动时，$PQRS$ 中向里的磁通量增加，从而产生逆时针方向的感应电流。T 中原有向里的磁通量不变，而增加了因 $PQRS$ 中感应电流产生的向外的磁通量，导致 T 中合磁通量减小，从而产生顺时针方向的感应电流。

考点二　法拉第电磁感应定律

考向基础

一、法拉第电磁感应定律

1.法拉第电磁感应定律：闭合电路中感应电动势的大小与穿过这一电路的磁通量的变化率成正比，即 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，产生的感应电动势有两种，一种是感生电动势，另一种是动生电动势。

2.感生电动势与动生电动势的比较

	感生电动势	动生电动势
产生原因	磁场的变化	导体做切割磁感线运动
移动电荷的非静电力	感生电场对自由电荷的电场力	导体中自由电荷所受洛伦兹力沿导体方向的分力
回路中相当于电源的部分	处于变化磁场中的线圈部分	做切割磁感线运动的导体

续表

	感生电动势	动生电动势
方向判断方法	由楞次定律判断	通常由右手定则判断，也可由楞次定律判断
大小计算方法	由 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算	通常由 $E=Blv\sin\theta$ 计算，也可由 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算

二、互感和自感

1.互感

两个相互靠近的线圈中，有一个线圈中的电流变化时，它所产生的变化的磁场会在另一个线圈中产生感应电动势，这种现象叫做互感，这种电动势叫做互感电动势。变压器就是利用互感现象制成的。

2.自感

（1）自感：由于导体本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象，叫做自感。

（2）自感电动势：由于自感而产生的感应电动势叫做自感电动势。自感电动势总是阻碍导体自身电流的变化，与电流变化的快慢有关，大小正比于电流的变化率，表示为 $E=L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$。

（3）自感系数：$E=L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ 中的比例系数 L 叫做自感系数，简称自感或电感。线圈的长度越长，线圈的横截面积越大，单位长度上匝数越多，线圈的自感系数越大，线圈有铁芯比无铁芯时自感系数大得多。

三、涡流

线圈中的电流变化时，在附近导体中产生感应电流，这种电流在导体内形成闭合回路，很像水的漩涡，因此把它叫做涡电流，简称涡流。在冶炼炉、电动机、变压器、探雷器等实际应用中都存在着涡流，它是整块导体发生的电磁感应现象，同样遵守电磁感应定律。

考向突破

考向一　磁通量变化产生感应电动势

1.法拉第电磁感应定律

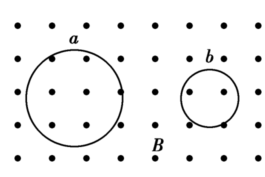
表达式：$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

说明　①式中的 n 为线圈的匝数，$\Delta\Phi$ 是线圈磁通量的变化量，Δt 是磁通量变化所用的时间。$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 叫做磁通量的变化率。

②$\Delta\Phi$ 的单位是韦伯，Δt 的单位是秒，E 的单位是伏特。

③$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 在中学阶段一般只用来计算平均感应电动势，如果 $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 是恒定的，那么 E 是稳恒的。

例 1　（2016 北京理综，16，6 分）如图所示，匀强磁场中有两个导体圆环 a、b，磁场方向与圆环所在平面垂直。磁感应强度 B 随时间均匀增大。两圆环半径之比为 2∶1，圆环中产生的感应电动势分别为 E_a 和 E_b。不考虑两圆环间的相互影响。下列说法正确的是　（　　）



A.E_a ∶ E_b=4 ∶ 1,感应电流均沿逆时针方向

B.E_a ∶ E_b=4 ∶ 1,感应电流均沿顺时针方向

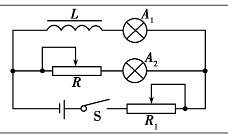
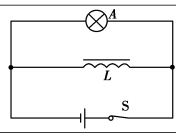
C.E_a ∶ E_b=2 ∶ 1,感应电流均沿逆时针方向

D.E_a ∶ E_b=2 ∶ 1,感应电流均沿顺时针方向

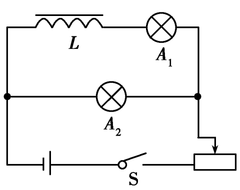
解析 由题意可知$\frac{\Delta B}{\Delta t}=k$,导体圆环中产生的感应电动势$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S=\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot\pi r^2$,因 r_a ∶ r_b=2 ∶ 1,故 E_a ∶ E_b=4 ∶ 1;由楞次定律知感应电流的方向均沿顺时针方向,选项 B 正确。

答案 B

2.通电自感和断电自感的比较

	通电自感	断电自感
电路图		
器材要求	A_1、A_2 同规格,$R=R_L$,L 较大	L 很大(有铁芯),$R_L \ll R_A$
现象	在 S 闭合的瞬间,A_2 灯立即亮起来,A_1 灯逐渐变亮,最终一样亮	在开关 S 断开时,灯 A 突然闪亮一下后再渐渐熄灭
原因	由于开关闭合时,流过电感线圈的电流迅速增大,使线圈产生自感电动势,阻碍了电流的增大,使流过 A_1 灯的电流比流过 A_2 灯的电流增加得慢	断开开关 S 时,流过线圈 L 的电流减小,产生自感电动势,阻碍了电流的减小,使电流继续存在一段时间;在 S 断开后,通过 L 的电流反向通过灯 A,且由于 $R_L \ll R_A$,使得流过 A 灯的电流在开关断开的瞬间突然增大,从而使 A 灯的功率突然变大,即闪亮一下
能量转化情况	电能转化为磁场能	磁场能转化为电能

例 2 如图所示的电路中,A_1 和 A_2 是完全相同的灯泡,线圈 L 的电阻可以忽略,下列说法中正确的是 ( )



A.合上开关 S 接通电路时,A_2 先亮,A_1 后亮,最后一样亮

B.合上开关 S 接通电路时,A_1 和 A_2 始终一样亮

C.断开开关 S 切断电路时,A_2 立刻熄灭,A_1 过一会儿才熄灭

D.断开开关 S 切断电路时,A_1 和 A_2 都要过一会儿才熄灭

解析 自感线圈具有阻碍电流变化的作用,当电流增大时,它阻碍电流增大;当电流减小时,它阻碍电流减小,但阻碍并不能阻止。闭合开关时,L 中电流从无到有,L 将阻碍这一变化,使 L 中电流不能迅速增大,而无线圈的 A_2 支路,电流能够瞬时达到较大值,故 A_1 后亮,A_2 先亮,最后通过两灯电流相等,一样亮;断开开关时,L 中产生自感现象,使 A_1、A_2 都要过一会儿才熄灭。故 A、D 正确。

答案 AD

考向二 导体切割磁感线产生感应电动势

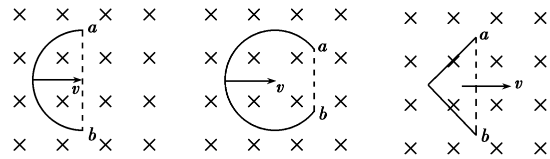
导体切割磁感线产生感应电动势的分析与计算

(1)公式:$E=BLv$。

(2)关于求解导体切割磁感线的感应电动势公式的两点说明:

①公式中的 B、L、v 要求两两互相垂直。当 $L\perp B$,$L\perp v$,而 v 与 B 成 θ 夹角时,导体切割磁感线的感应电动势大小为 $E=BLv\sin\theta$。

②若导体不是直的,则 $E=BLv\sin\theta$ 中的 L 为切割磁感线的导体的有效长度。如图中,导体的有效长度为 a、b 间的距离。



(3)有关计算导体切割磁感线产生的感应电动势大小的两个特例:

①长为 L 的导体棒在磁感应强度为 B 的匀强磁场中以角速度 ω 匀速转动,导体棒产生的感应电动势:

a.以中点为轴时,$E=0$(不同两段的代数和);

b.以端点为轴时,$E=\frac{1}{2}B\omega L^2$(平均速度取中点位置时的线速度$\frac{1}{2}\omega L$);

c.以任意点为轴时,$E=\frac{1}{2}B\omega(L_1^2-L_2^2)$(不同两段的代数和)。

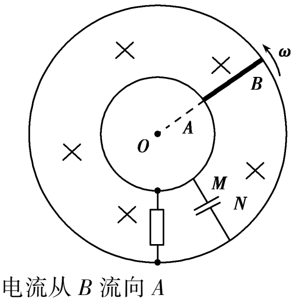
②面积为 S 的矩形线圈在匀强磁场 B 中以角速度 ω 绕线圈平面内垂直于磁场的任意轴匀速转动切割磁感线,产生的感应电动势:

a.线圈平面与磁感线垂直时,$E=0$;

b.线圈平面与磁感线平行时,$E=BS\omega$;

c.线圈平面与磁感线夹角为 θ 时,$E=BS\omega\cos\theta$。

例 3 半径分别为 r 和 $2r$ 的同心圆形导轨固定在同一水平面内,一长为 r、电阻为 R 的均匀金属棒 AB 置于圆导轨上面,BA 的延长线通过圆导轨中心 O,装置的俯视图如图所示,整个装置位于一匀强磁场中,磁感应强度的大小为 B,方向竖直向下。在两环之间接阻值也为 R 的定值电阻和电容为 C 的电容器。金属棒在水平外力作用下以角速度 ω 绕 O 逆时针匀速转动,在转动过程中始终与导轨保持良好接触。下列说法正确的是 ( )



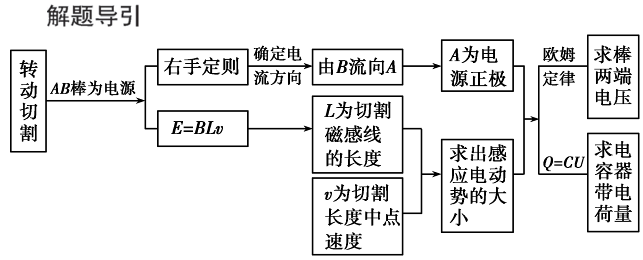
A.金属棒中电流从 B 流向 A

B.金属棒两端电压为$\frac{3}{4}B\omega r^2$

C.电容器的 M 板带负电

D.电容器所带电荷量为$\frac{3}{2}CB\omega r^2$

解题导引



解析　根据右手定则可知金属棒中电流从 B 流向 A,选项 A 正确;金属棒转动产生的电动势为 $E=Br\dfrac{\omega r+\omega\cdot 2r}{2}=\dfrac{3}{2}B\omega r^2$,切割磁感线的金属棒相当于电源,金属棒两端电压相当于电源的路端电压,因而 $U=\dfrac{R}{R+R}E=\dfrac{3}{4}B\omega r^2$,选项 B 正确;金属棒 A 端相当于电源正极,电容器 M 板带正电,选项 C 错误;由 $C=\dfrac{Q}{U}$ 可得电容器所带电荷量为 $Q=\dfrac{3}{4}CB\omega r^2$,选项 D 错误。

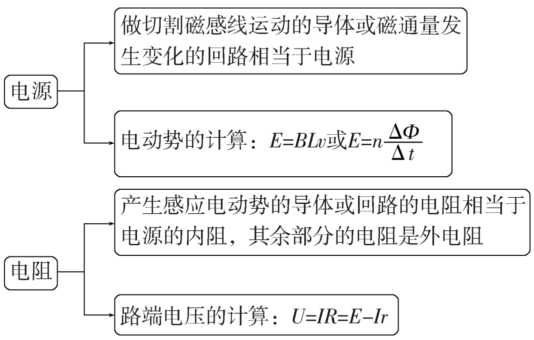
答案　AB

考点三　电磁感应中的综合应用

考向基础

一、电磁感应中的电路问题

1.电源和电阻



2.电流方向

在外电路,电流由高电势流向低电势;在内电路,电流由低电势流向高电势。

二、电磁感应中的图像问题

图像类型	(1)磁感应强度 B、磁通量 Φ、感应电动势 E 和感应电流 I 随时间 t 变化的图像,即 $B-t$ 图像、$\Phi-t$ 图像、$E-t$ 图像和 $I-t$ 图像 (2)对于切割磁感线产生感应电动势和感应电流的情况,还常涉及感应电动势 E 和感应电流 I 随导体位移 x 变化的图像,即 $E-x$ 图像和 $I-x$ 图像
问题类型	(1)由给定的电磁感应过程选出或画出正确的图像 (2)由给定的有关图像分析电磁感应过程,求解相应的物理量
应用知识	右手定则、安培定则、楞次定律、法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律和相关数学知识等

三、电磁感应现象中的动力学问题

1.安培力的大小

安培力公式:$F=BIL$
感应电动势:$E=BLv$
感应电流:$I=\dfrac{E}{R}$

$\Rightarrow F=\dfrac{B^2L^2v}{R}$

2.安培力的方向

(1)先用右手定则判断感应电流方向,再用左手定则判定安培力方向。

(2)根据楞次定律,安培力的方向一定和导体切割磁感线的运动方向相反。

四、电磁感应现象中的能量问题

1.电磁感应现象的实质是其他形式的能和电能之间的转化。

2.感应电流在磁场中受安培力,外力克服安培力做功,将其他形式的能转化为电能,电流做功再将电能转化为其他形式的能。

考向突破

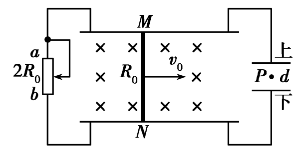
考向一　电磁感应中的电路、图像问题

一、电磁感应中的电路问题

1.将产生感应电动势的部分电路当做电源,作出等效电路图,结合欧姆定律用相关电路知识求解。

电学对象:
- 内电路:
  - 电源($E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,$E=BLv$)
  - 内电阻(r)
- 外电路(R):串、并联关系
- 电路联系:$E=I(R+r)$

例 1　如图所示,匀强磁场的方向垂直于光滑的金属导轨平面向里,极板间距为 d 的平行板电容器与总阻值为 $2R_0$ 的滑动变阻器通过平行导轨连接,电阻为 R_0 的导体棒 MN 可在外力的作用下沿导轨从左向右做匀速直线运动。当滑动变阻器的滑动触头位于 a、b 的中间位置且导体棒 MN 的速度为 v_0 时,位于电容器中 P 点的带电油滴恰好处于静止状态。若不计摩擦和平行导轨及导线的电阻,各接触处接触良好,重力加速度为 g,则下列判断正确的是　(　　)



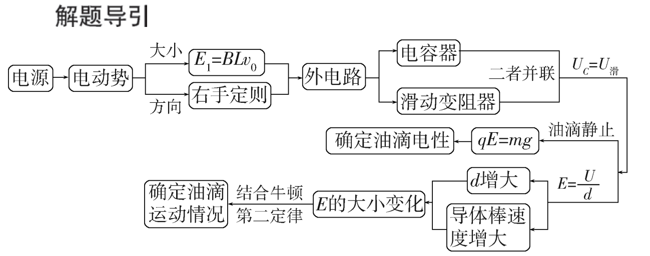
A.油滴带正电荷

B.若将上极板竖直向上移动距离 d,油滴将向上加速运动,加速度 $a=g/2$

C.若将导体棒的速度变为 $2v_0$,油滴将向上加速运动,加速度 $a=g$

D.若保持导体棒的速度为 v_0 不变,而将滑动触头置于 a 端,同时将电容器上极板向上移动距离 $d/3$,油滴仍将静止

解题导引



解析　根据右手定则可知,M 端为正极,则上极板带正电,板间场强竖直向下,又油滴静止,对其受力分析知受竖直向下的重力和竖直向上的电场力,两力大小相等,因此油滴带负电荷,选项 A 错误;设导轨间距为 L,导体棒切割磁感线产生的感应电动势为:$E_1=BLv_0$,则电容器两端电压为 $U_1=\dfrac{ER_0}{R_0+R_0}=\dfrac{BLv_0}{2}$,开始油滴静止时有:$q\dfrac{U_1}{d}=mg$,若将上极板竖直向上移动距离 d,对油滴有:$mg-\dfrac{U_1}{2d}q=ma_1$,解得:$a_1=\dfrac{g}{2}$,方向竖直向下,同理,若将导体棒的速度变为 $2v_0$,可得油滴的加速度为:$a_2=g$,方向竖直向上,选项 B 错误、C 正确;若保持导体棒的速度不变,而将滑动

触头置于 a 端,同时将电容器上极板向上移动距离 $\frac{d}{3}$,则此时电容器两端电压为:$U_2=\frac{E_1\cdot 2R_0}{2R_0+R_0}=\frac{2}{3}BLv_0$,油滴所受电场力为:$F=\frac{U_2}{\frac{4d}{3}}q=\frac{BLv_0q}{2d}=mg$,因此油滴仍然静止,选项 D 正确。

答案 CD

2.$q=n\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$的分析与应用

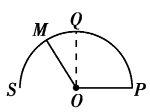
在电磁感应现象中,只要穿过闭合电路的磁通量发生变化,闭合电路中就会产生感应电流,设在时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量为 q,则根据电流定义式 $I=\frac{q}{\Delta t}$ 及法拉第电磁感应定律 $E=\frac{n\Delta\Phi}{\Delta t}$,得 $q=I\Delta t=\frac{E}{R_{总}}\Delta t=\frac{n\Delta\Phi}{R_{总}\Delta t}\Delta t=\frac{n\Delta\Phi}{R_{总}}$。

需要说明的是:上面式中 I 为平均值,因而 E 为平均值。

如果闭合电路是一个单匝线圈($n=1$),则 $q=\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$。

$q=n\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$中 n 为线圈的匝数,$\Delta\Phi$ 为磁通量的变化量,$R_{总}$ 为闭合电路的总电阻。

例 2 (2018 课标Ⅰ,17,6 分)如图,导体轨道 $OPQS$ 固定,其中 PQS 是半圆弧,Q 为半圆弧的中点,O 为圆心。轨道的电阻忽略不计。OM 是有一定电阻、可绕 O 转动的金属杆,M 端位于 PQS 上,OM 与轨道接触良好。空间存在与半圆所在平面垂直的匀强磁场,磁感应强度的大小为 B。现使 OM 从 OQ 位置以恒定的角速度逆时针转到 OS 位置并固定(过程Ⅰ);再使磁感应强度的大小以一定的变化率从 B 增加到 B'(过程Ⅱ)。在过程Ⅰ、Ⅱ中,流过 OM 的电荷量相等,则$\frac{B'}{B}$等于 ( )



A.$\frac{5}{4}$ B.$\frac{3}{2}$ C.$\frac{7}{4}$ D.2

解析 本题考查法拉第电磁感应定律及电荷量公式。由公式$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,$I=\frac{E}{R}$,$q=It$ 得 $q=\frac{\Delta\Phi}{R}$,设半圆弧半径为 r,对于过程Ⅰ,$q_1=\frac{B\cdot\pi r^2}{4\cdot R}$,对于过程Ⅱ,$q_2=\frac{(B'-B)\cdot\pi r^2}{2R}$,由 $q_1=q_2$ 得,$\frac{B'}{B}=\frac{3}{2}$,故 B 项正确。

答案 B

规律总结 电磁感应中电荷量的求解方法

(1)$q=It$。

(2)$q=\frac{\Delta\Phi}{R}$,其中 $\Delta\Phi$ 的求解有三种情况:(1)只有 S 变化,$\Delta\Phi=B\cdot\Delta S$;(2)只有 B 变化,$\Delta\Phi=\Delta B\cdot S$;(3)$B$ 和 S 都变化,$\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1$。

二、电磁感应中的图像问题

1.图像问题中的“三看”“三明确”

对于图像问题,应做到“三看”、“三明确”,即

(1)看轴——看清变量。

(2)看线——看图线的形状。

(3)看点——看特殊点和转折点。

(4)明确图像斜率的物理意义。

(5)明确截距的物理意义。

(6)明确“+”“-”的含义。

2.图像问题的求解类型

类型	据电磁感应过程选图像	据图像分析判断电磁感应过程
求解流程	电磁感应过程(或磁通量的变化情况) → 感应电动势(或感应电流)随时间变化的图像(法拉第电磁感应定律、楞次定律)	感应电流(或感应电动势)随时间变化的图像 → 电磁感应的可能过程(或磁通量的变化情况)(法拉第电磁感应定律、楞次定律)

3.解题关键

弄清初始条件、正负方向的对应变化范围、所研究物理量的函数表达式、进出磁场的转折点等是解决此类问题的关键。

4.解决图像问题的一般步骤

(1)明确图像的种类,即是 $B-t$ 图还是 $\Phi-t$ 图,或者 $E-t$ 图、$I-t$ 图等。

(2)分析电磁感应的具体过程。

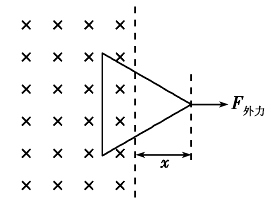
(3)用右手定则或楞次定律确定方向的对应关系。

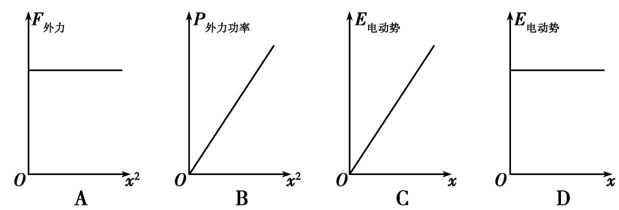
(4)结合法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律等知识写出函数关系式。

(5)根据函数关系式,进行数学分析,如分析斜率的变化、截距等。

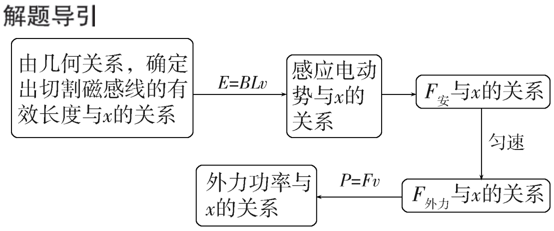
(6)画图像或判断图像。

例 3 边长为 a 的闭合金属正三角形轻质框架,左边竖直且与磁场右边界平行,完全处于垂直于框架平面向里的匀强磁场中,现把框架匀速水平向右拉出磁场,如图所示,则下列图像与这一拉出过程相符合的是 ( )





解题导引



解析 设正三角形轻质框架开始出磁场的时刻 $t=0$,则其切割磁感线的有效长度 $L=2x\tan 30°=\frac{2\sqrt{3}}{3}x$,则感应电动势 $E_{电动势}=BLv=\frac{2\sqrt{3}}{3}Bvx$,则 C 项正确,D 项错误。框架匀速运动,故 $F_{外力}=F_{安}=\frac{B^2L^2v}{R}=\frac{4B^2x^2v}{3R}\propto x^2$,A 项错误。$P_{外力功率}=F_{外力}v\propto F_{外力}\propto x^2$,B 项正确。

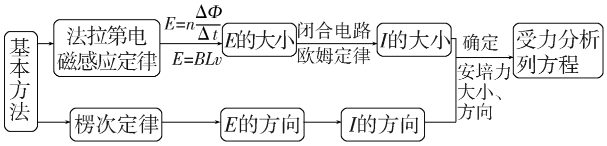
答案 BC

考向二 电磁感应中的动力学、能量问题

一、电磁感应中的动力学问题

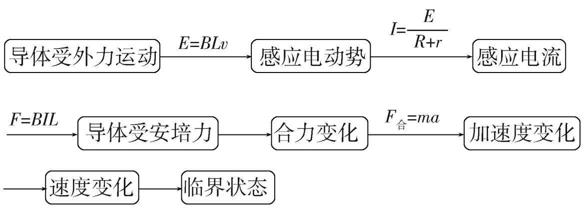
1.电磁感应中的动力学问题

通电导体在磁场中受到安培力作用,因此电磁感应问题往往和力学问题综合在一起。解决的基本方法如下:

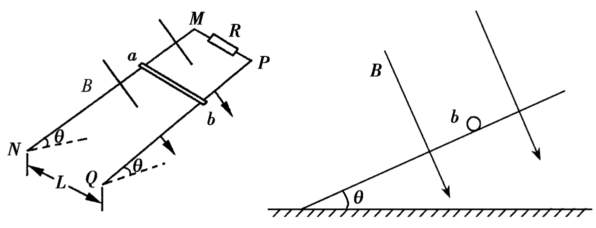


2.电磁感应中的动力学临界问题

基本思路是:



例4 如图甲所示,两根足够长的直金属导轨 MN、PQ 平行放置在倾角为 θ 的绝缘斜面上,两导轨间距为 L。M、P 两点间接有阻值为 R 的电阻。一根质量为 m 的均匀直金属杆 ab 放在两导轨上,并与导轨垂直。整套装置处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场方向垂直斜面向下。导轨和金属杆的电阻可忽略。让 ab 杆沿导轨由静止开始下滑,导轨和金属杆接触良好,不计它们之间的摩擦。



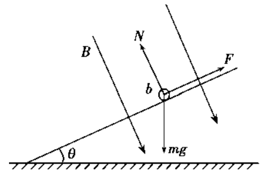
甲　　　　乙

(1)由 b 向 a 方向看到的装置如图乙所示,请在此图中画出 ab 杆下滑过程中某时刻的受力示意图;

(2)在加速下滑过程中,当 ab 杆的速度大小为 v 时,求 ab 杆中的电流及其加速度的大小;

(3)求在下滑过程中,ab 杆可以达到的速度最大值。

解析 (1)如图所示,重力 mg,竖直向下;支持力 N,垂直斜面向上;安培力 F,沿斜面向上。



(2)当 ab 杆速度为 v 时,感应电动势 $E=BLv$,此时电路中电流

$I=\frac{E}{R}=\frac{BLv}{R}$。

ab 杆受到的安培力

$F=BIL=\frac{B^2L^2v}{R}$,

根据牛顿运动定律,有

$ma=mg\sin\theta-F=mg\sin\theta-\frac{B^2L^2v}{R}$

解得 $a=g\sin\theta-\frac{B^2L^2v}{mR}$。

(3)当 $\frac{B^2L^2v}{R}=mg\sin\theta$ 时,ab 杆达到最大速度,解得 $v_m=\frac{mgR\sin\theta}{B^2L^2}$。

答案 (1)见解析 (2)$\frac{BLv}{R}$ $g\sin\theta-\frac{B^2L^2v}{mR}$

(3)$\frac{mgR\sin\theta}{B^2L^2}$

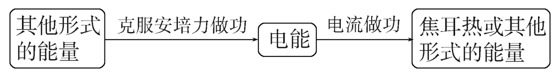
二、电磁感应中的能量问题

1.电磁感应中的功能问题

电磁感应过程的实质是不同形式的能量之间转化的过程,而能量的转化是通过安培力做功的形式实现的,安培力做功的过程,是电能转化为其他形式能的过程,外力克服安培力做功,则是其他形式的能转化为电能的过程。

2.能量转化及焦耳热的求法

(1)能量转化



(2)求解焦耳热 Q 的三种方法

①焦耳定律:$Q=I^2Rt$。

②功能关系:$Q=W_{克服安培力}$。

③能量转化:$Q=\Delta E_{其他能的减少量}$。

3.解决此类问题的步骤

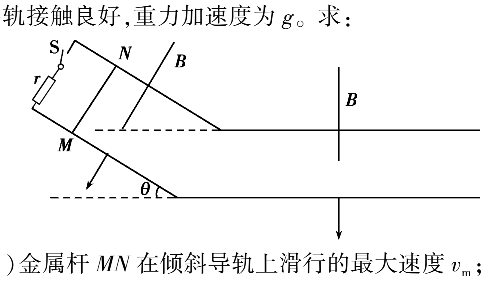
(1)用法拉第电磁感应定律和楞次定律(右手定则)确定感应电动势的大小和方向。

(2)画出等效电路图,写出回路中电阻消耗的电功率的表达式。

(3)分析导体机械能的变化,用能量守恒关系得到机械功率的改变与回路中电功率的改变所满足的方程,联立求解。

注意 在利用能量的转化和守恒解决电磁感应问题时,第一要准确把握参与转化的能量的形式和种类,第二要确定哪种能量增加,哪种能量减少。

例5 如图所示,间距为 L 的平行且足够长的光滑导轨由两部分组成:倾斜部分与水平部分平滑相连,倾角为 θ,在倾斜导轨顶端连接一阻值为 r 的定值电阻。质量为 m、电阻也为 r 的金属杆 MN 垂直导轨跨放在导轨上,在倾斜导轨区域加一垂直导轨平面向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场;在水平导轨区域加另一垂直导轨平面向下、磁感应强度大小也为 B 的匀强磁场。闭合开关 S,让金属杆 MN 从图示位置由静止释放,已知金属杆运动到水平导轨前,已达到最大速度,不计导轨电阻且金属杆始终与导轨接触良好,重力加速度为 g。求:



(1)金属杆 MN 在倾斜导轨上滑行的最大速度 v_m;

(2)金属杆 MN 在倾斜导轨上运动,速度未达到最大速度 v_m 前,当流经定值电阻的电流从零增大到 I_0 的过程中,通过定值电阻的电荷量为 q,求这段时间内在定值电阻上产生的焦耳热 Q;

(3)金属杆 MN 在水平导轨上滑行的最大距离 x_m。

解析 (1)金属杆 MN 在倾斜导轨上滑行的速度最大时,其受到的合力为零

对其受力分析,可得:$mg\sin\theta-BIL=0$

根据欧姆定律可得：$I=\dfrac{BLv_m}{2r}$

解得：$v_m=\dfrac{2mgr\sin\theta}{B^2L^2}$

(2)设在这段时间内，金属杆运动的位移为 x

由电流的定义可得：$q=\bar{I}\Delta t$

根据法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律得：

$\bar{I}=\dfrac{B\Delta S}{2r\Delta t}=\dfrac{BLx}{2r\Delta t}$

解得：$x=\dfrac{2qr}{BL}$

设电流为 I_0 时金属杆的速度为 v_0，根据法拉第电磁感应定律、欧姆定律，可得：$I_0=\dfrac{BLv_0}{2r}$

此过程中，电路产生的总焦耳热为 $Q_总$，由功能关系可得：

$mgx\sin\theta=Q_总+\dfrac{1}{2}mv_0^2$

定值电阻产生的焦耳热 $Q=\dfrac{1}{2}Q_总$

解得：$Q=\dfrac{mgqr\sin\theta}{BL}-\dfrac{mI_0^2r^2}{B^2L^2}$

(3)金属杆在水平导轨上滑行的最大距离为 x_m

由牛顿第二定律得：$BIL=ma$

由法拉第电磁感应定律、欧姆定律可得：$I=\dfrac{BLv}{2r}$

可得：$\dfrac{B^2L^2}{2r}v=m\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

$\dfrac{B^2L^2}{2r}v\Delta t=m\Delta v$，即 $\dfrac{B^2L^2}{2r}x_m=mv_m$

得：$x_m=\dfrac{4m^2gr^2\sin\theta}{B^4L^4}$

答案 (1)$v_m=\dfrac{2mgr\sin\theta}{B^2L^2}$

(2)$Q=\dfrac{mgqr\sin\theta}{BL}-\dfrac{mI_0^2r^2}{B^2L^2}$

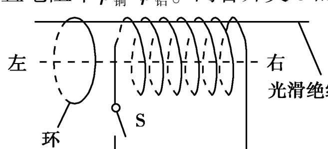
(3)$x_m=\dfrac{4m^2gr^2\sin\theta}{B^4L^4}$

考点集训

对应学生用书起始页码 132

考点一 电磁感应现象、楞次定律

1.(多选)航母上飞机弹射起飞是利用电磁驱动来实现的。电磁驱动原理如图所示，当固定线圈上突然通过直流电流时，线圈端点的金属环被弹射出去。现在固定线圈左侧同一位置，先后放有分别用横截面积相等的铜和铝导线制成形状、大小相同的两个闭合环，且电阻率 $\rho_铜<\rho_铝$。闭合开关 S 的瞬间 ( )



A.从左侧看环中感应电流沿顺时针方向

B.铜环受到的安培力大于铝环受到的安培力

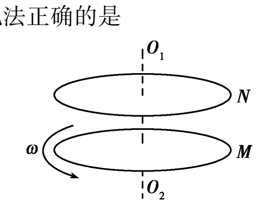
C.若将环放置在线圈右方，环将向左运动

D.电池正负极调换后，金属环不能向左弹射

答案 **AB** 本题考查了楞次定律，体现了科学思维中科学推理要素。

线圈中电流为右侧流入，磁场方向为向左，在闭合开关的瞬间，磁场变强，则由楞次定律可知，环中感应电流由左侧看为顺时针，选项 A 正确；由于铜环的电阻较小，故铜环中感应电流较大，故铜环受到的安培力要大于铝环，选项 B 正确；若将环放在线圈右方，根据楞次定律可得，环将向右运动，选项 C 错误；电池正负极调换后，金属环受力仍向左，故仍将向左弹出，选项 D 错误。

2.(多选)如图所示，M 为水平放置的橡胶圆盘，在其外侧面均匀地带有负电荷。在 M 正上方用丝线悬挂一个闭合铝环 N，铝环也处于水平面中，且 M 盘和 N 环的中心在同一条竖直线 O_1O_2 上。现让橡胶圆盘由静止开始绕 O_1O_2 轴按图示方向逆时针加速转动，下列说法正确的是 ( )



A.铝环 N 对橡胶圆盘 M 的作用力方向竖直向下

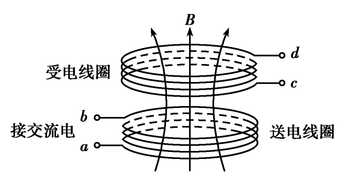
B.铝环 N 对橡胶圆盘 M 的作用力方向竖直向上

C.铝环 N 有扩大的趋势，丝线对它的拉力增大

D.铝环 N 有缩小的趋势，丝线对它的拉力减小

答案 **AD** 当橡胶圆盘 M 加速转动时，相当于 M 中的电流越来越大，因此穿过 N 的磁通量越来越大，N 中产生的感应电流的磁场方向与 M 中电流产生的磁场方向相反，M、N 相互排斥，因此铝环 N 对橡胶圆盘 M 的作用力方向竖直向下，由牛顿第三定律知，橡胶圆盘 M 对 N 的作用力方向竖直向上，丝线对 N 的拉力减小。由于穿过铝环的磁通量越来越大，根据楞次定律的推论，铝环有缩小的趋势。故 A、D 正确，B、C 错误。

3.(2019 四川南充二模，18)(多选)现在人们可以利用无线充电板为手机充电，如图所示为充电原理图，充电板接交流电源，为充电板供电，充电板内的送电线圈可产生交变磁场，从而使手机内的受电线圈产生交变电流，再经整流电路转变成直流电后对手机电池充电。若在某段时间内，磁场垂直于受电线圈平面向上穿过线圈，其磁感应强度均匀增加。下列说法正确的是 ( )



A.c 点电势高于 d 点电势

B.c 点电势低于 d 点电势

C.感应电流方向由 $c\to$受电线圈$\to d$

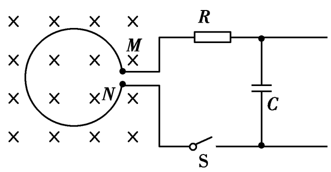
D.感应电流方向由 $d\to$受电线圈$\to c$

答案 **BC** 根据楞次定律可知，受电线圈内部产生的感应电流方向俯视为顺时针方向，受电线圈中感应电流方向由 $c\to$受电线圈$\to d$，所以 c 点的电势低于 d 点的电势。故 A、D 错误，B、C 正确。

思路点拨 根据楞次定律判断感应电流方向，从而确定电势的高低。

考点二　法拉第电磁感应定律

1.(2018 全国 100 所名校联考,2) 如图所示为利用电磁感应现象对电容器进行充电。已知匝数 $N=100$ 匝、横截面积 $S=0.2\ m^2$、电阻不计的圆形线圈 MN 处于垂直纸面向里的匀强磁场内,磁感应强度随时间按 $B=0.6+0.02t$(T)的规律变化。处于磁场外的电阻 $R=8\ \Omega$,电容器的电容 $C=30\ \mu F$,开关 S 闭合充电一段时间,最后达到稳定状态。下列说法中正确的是 (　　)



A.充电过程中 M 点的电势高于 N 点的电势

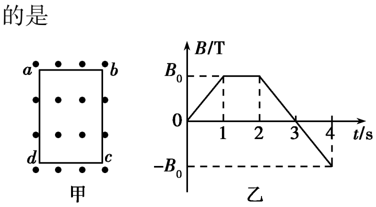
B.充电过程中通过电阻 R 的电荷量为 1.2×10^{-5} C

C.达到稳定状态后电阻 R 上的电压为 0.4 V

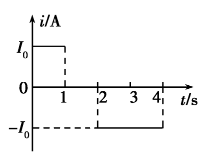
D.断开开关 S,电容器放电

答案　B　根据楞次定律和安培定则可以判断充电过程中 N 点的电势高于 M 点的电势,A 项错误;线圈中的感应电动势 $E=\dfrac{N\Delta\Phi}{\Delta t}=N\dfrac{\Delta B}{\Delta t}S=100\times0.02\times0.2\ V=0.4\ V$,电容器充电后所带电荷量 $Q=CU=CE=1.2\times10^{-5}$ C,B 项正确;达到稳定状态后,电阻 R 上没有电压,C 项错误;断开开关 S 时,回路断开,电容器不放电,D 项错误。

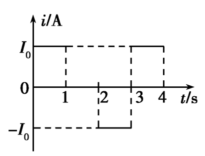
2.(2020 届河南洛阳四校联考,7)(多选)如图甲所示,闭合矩形导线框 $abcd$ 固定在匀强磁场中,磁场的方向与导线框所在平面垂直,磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图乙所示,规定垂直纸面向外为磁场的正方向,线框中顺时针的电流方向为感应电流的正方向,水平向右为安培力的正方向。关于线框中的感应电流 i 与 ad 边所受的安培力 F 随时间 t 变化的图像,下列选项中正确的是 (　　)



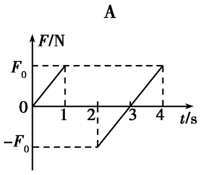
甲　　乙



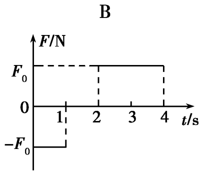
A



B



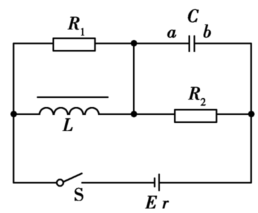
C



D

答案　AC　由 $B-t$ 图像可知,0~1 s 内,B 增大,Φ 增大,由楞次定律可知,感应电流沿顺时针方向,为正值;1~2 s 内,磁通量不变,无感应电流;2~3 s 内,B 的方向垂直纸面向外,B 减小,Φ 减小,由楞次定律可知,感应电流沿逆时针方向,为负值;3~4 s 内,B 的方向垂直纸面向里,B 增大,Φ 增大,由楞次定律可知,感应电流沿逆时针方向,为负值,A 正确,B 错误;由左手定则可知,在 0~1 s 内,ad 受到的安培力方向水平向右,是正的;1~2 s,无感应电流,没有安培力;2~3 s 时间内,安培力水平向左,是负的;3~4 s 内,安培力是正的。由法拉第电磁感应定律可知,感应电动势 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{\Delta B}{\Delta t}S$,感应电流 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{S\Delta B}{R\Delta t}$,由 $B-t$ 图像可知,在各时间段内,$\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$是定值,在各时间段内 I 是定值,ad 边受到的安培力 $F=BIL$,I、L 不变,B 均匀变化,则安培力 F 均匀变化,不是定值,C 正确,D 错误。

3.(2019 贵州贵阳模拟)(多选)在如图所示的电路中,电源电动势为 E,内阻为 r,线圈 L 的电阻不计。以下判断正确的是 (　　)



A.闭合 S,稳定后,电容器的 a 极板带正电

B.闭合 S,稳定后,电容器两端电压小于 E

C.断开 S 的瞬间,通过 R_1 的电流方向向右

D.断开 S 的瞬间,通过 R_2 的电流方向向右

答案　BC　本题考查了通电自感和断电自感,体现了科学思维中的科学推理要素。

闭合 S,稳定后,电容器相当于断路,线圈 L 相当于短路,所以电容器 b 极板与电源正极相连,带正电荷,A 项错误;电源有内阻,电容器两端电压等于电路的路端电压,小于电源电动势,B 项正确;断开 S 瞬间,电容器与 R_2 构成回路放电,通过 R_2 的电流方向向左,D 项错误;断开 S 瞬间,由于自感现象,线圈 L 相当于临时电源,阻碍原来的电流减小,通过线圈的电流方向不变,R_1 与线圈 L 构成回路,所以通过 R_1 的电流方向向右,C 项正确。

4.(2018 东北三校联考,18)"自发电"地板是利用人走过此处时踩踏地板发电。地板下有一发电装置,如图 1 所示,装置的主要结构是一个截面半径为 r、匝数为 n 的线圈,无摩擦地套在磁场方向呈辐射状的永久磁铁槽中。磁场的磁感线沿半径方向均匀对称分布,图 2 为装置的横截面俯视图。轻质地板四角各连接有一个劲度系数为 k 的复位弹簧(图中只画出其中的两个),轻质硬杆 P 将地板与线圈连接,人走过时即可带动线圈上下往返运动(线圈不发生形变)发电。若线圈的总电阻为 R_0,现用它向一个电阻为 R 的小灯泡供电。为便于研究,将某人走过时对地板的压力使线圈发生的位移 x 随时间 t 变化的规律简化为图 3 所示的 $x-t$ 图像。(弹簧始终处在弹性限度内,取线圈初始位置 $x=0$,竖直向下为位移的正方向。线圈运动的过程中,线圈所在处的磁场始终不变)

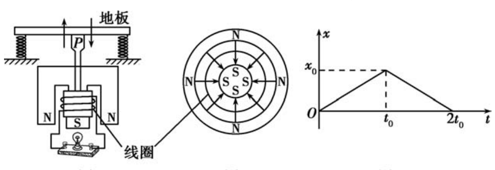


图1　　图2　　图3

(1)若灯泡的额定电压为 U,要使灯泡正常发光,线圈所在位置磁感应强度大小为多大?

(2)求 $t=\dfrac{t_0}{2}$时地板受到的压力大小。

(3)求此人走过时踩踏地板所做的功。

答案　(1)$\dfrac{U(R+R_0)t_0}{2n\pi rx_0R}$　(2)$2kx_0+\dfrac{(R+R_0)U^2t_0}{x_0R^2}$

(3)$\dfrac{2U^2(R_0+R)t_0}{R^2}$

解析 (1)根据题图3可知,$0\sim t_0$、$t_0\sim 2t_0$时间内线圈向下、向上运动的速率均为$v=\frac{x_0}{t_0}$

设线圈所在位置磁感应强度大小为B,线圈运动过程中产生的感应电动势大小均为$E=nB\cdot 2\pi rv$

又由串联电路电压规律可知,$U=\frac{R}{R+R_0}E$

联立解得$B=\frac{U(R+R_0)t_0}{2n\pi rx_0R}$

(2)$0\sim t_0$时间内安培力方向向上,设线圈中电流大小为I,则$F_安=nBI\cdot 2\pi r$,$I=\frac{U}{R}$

$t=\frac{t_0}{2}$时刻弹簧形变量为$\frac{x_0}{2}$,弹簧弹力向上,且$F_弹=4k\frac{x_0}{2}$

$t=\frac{t_0}{2}$时刻地板受到的压力$F_N=F_弹+F_安$

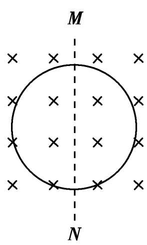
联立解得$F_N=2kx_0+\frac{(R+R_0)U^2t_0}{x_0R^2}$

(3)此人走过地板的过程中弹力做功为零,则由功能关系可得$W=I^2(R_0+R)\cdot 2t_0$

解得$W=\frac{2U^2(R_0+R)t_0}{R^2}$

考点三 电磁感应中的综合应用

1.(2019云南一检,17)如图所示,圆形金属线圈放置于磁感应强度为B_0的匀强磁场中,让线圈以恒定的角速度ω绕过直径的轴MN转动,在$\Delta t=\frac{100\pi}{\omega}$时间内线圈产生的热量为$Q$;若线圈不动,让磁场从$B_0$开始均匀增大,为使$\Delta t$时间内线圈中产生的热量也为$Q$,则磁感应强度的变化率为 ( )



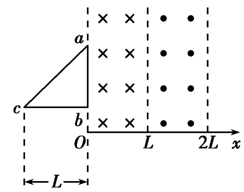
A.$\frac{\sqrt{2}}{2}B_0\omega$ B.$B_0\omega$

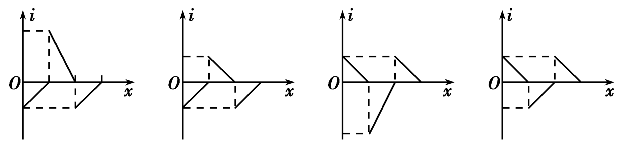
C.$\sqrt{2}B_0\omega$ D.$2B_0\omega$

答案 A 当线圈以恒定的角速度ω绕轴MN转动时,线圈电阻为R,线圈面积为S,其产生的电动势$E=\frac{B_0S\omega}{\sqrt{2}}$,则在$\Delta t$时间内线圈产生的焦耳热$Q=\frac{E^2}{R}\times\Delta t=\frac{B_0^2S^2\omega^2}{2R}\times\frac{100\pi}{\omega}=\frac{50\pi B_0^2S^2\omega}{R}$。当线圈不动,磁场均匀增大时,其产生的电动势$E'=\frac{\Delta BS}{\Delta t}$,则在$\Delta t$时间内,线圈产生的焦耳热$Q'=\frac{E'^2}{R}\times\Delta t=\left(\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2\frac{S^2}{R}\times\frac{100\pi}{\omega}=\left(\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2\times\frac{100\pi S^2}{R\omega}$。当$Q'=Q$时,即$\left(\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2\times\frac{100\pi S^2}{R\omega}=\frac{50\pi B_0^2S^2\omega}{R}$,解得:$\frac{\Delta B}{\Delta t}=\frac{\sqrt{2}}{2}B_0\omega$,选项A正确,选项B、C、D错误。

知识链接 电磁感应分两种情况:①感生问题——磁感应强度B变化;②动生问题——线圈或导体棒切割磁感线。

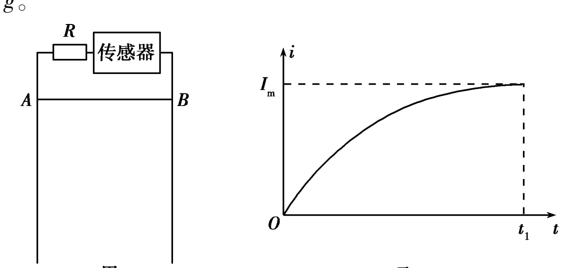
2.(2018河南洛阳统考,8)如图所示,虚线间存在宽度相同、垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度大小相同、方向相反。一等腰直角三角形线框以速度v沿x轴正方向匀速穿过磁场区域,感应电流以逆时针方向为正方向,电流随位移的变化关系图像正确的是 ( )





答案 C 线框进入左边磁场过程中,线框内垂直于纸面向里的磁通量增加,感应电流的磁场垂直纸面向外,感应电流沿逆时针方向,切割磁感线的有效长度逐渐减小,感应电流逐渐减小,从感应电流方向可知A、B错误;线框穿出右边磁场的过程,线框内垂直于纸面向外的磁通量减少,感应电流的磁场垂直纸面向外,感应电流沿逆时针方向,切割磁感线的有效长度逐渐减小,感应电流逐渐减小;线框跨越两磁场交界处时,线框内垂直于纸面向里的磁通量减少,同时垂直于纸面向外的磁通量增加,感应电流的磁场垂直于纸面向里,感应电流沿顺时针方向,在中央分界线左右两侧的线框都产生感应电流,此过程中感应电流最大值是线框在穿过左边界和右边界时感应电流最大值的2倍,切割磁感线的有效长度逐渐减小,感应电流逐渐减小,D错误,C正确。

3.(2020届江西四市联考,14)某兴趣小组用电流传感器测量某磁场的磁感应强度。实验装置如图甲所示,不计电阻的足够长光滑平行金属导轨竖直放置在匀强磁场中,导轨间距为d,其平面与磁场方向垂直。电流传感器与阻值为R的电阻串联接在导轨上端。质量为m、有效阻值为r的导体棒AB由静止释放沿导轨下滑,该过程中电流传感器测得电流随时间变化规律如图乙所示,电流最大值为I_m。棒下滑过程中与导轨保持垂直且良好接触,不计电流传感器内阻及空气阻力,重力加速度为g。



甲 乙

(1)求该磁场磁感应强度大小;

(2)求在t_1时刻棒AB的速度大小;

(3)在$0\sim t_1$时间内棒AB下降了h,求此过程电阻R产生的电热。

答案 (1)$\frac{mg}{I_md}$ (2)$\frac{I_m^2(R+r)}{mg}$ (3)$\frac{mghR}{R+r}-\frac{I_m^4R(R+r)}{2mg^2}$

解析 本题考查了电磁感应现象中的单杆模型,体现了物理观念中运动与相互作用、能量要素。

(1)电流为I_m时棒做匀速运动,

对棒:$F_安=BI_md$,

$F_{安}=mg$,

解得 $B=\dfrac{mg}{I_m d}$。

(2) t_1 时刻,对回路有

$E=Bdv$,

$I_m=\dfrac{Bdv}{R+r}$,

解得 $v=\dfrac{I_m^2(R+r)}{mg}$。

(3)电路中产生的总电热: $Q=mgh-\dfrac{1}{2}mv^2$,

电阻 R 上产生的电热: $Q_R=\dfrac{R}{R+r}Q$,

解得 $Q_R=\dfrac{mghR}{R+r}-\dfrac{I_m^4R(R+r)}{2mg^2}$。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍
实战技能集训

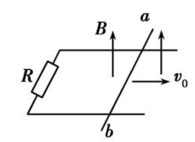
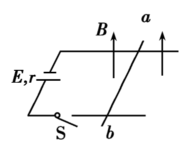
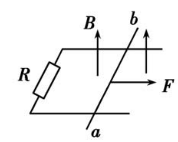
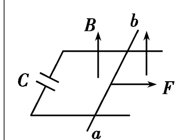
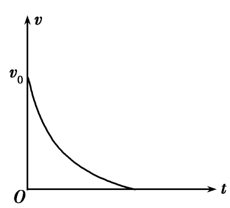
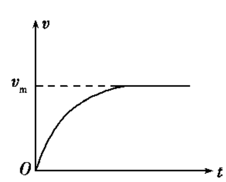
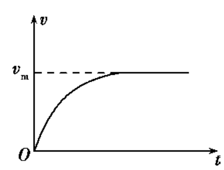
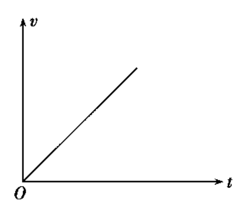
方法技巧

对应学生用书起始页码 134

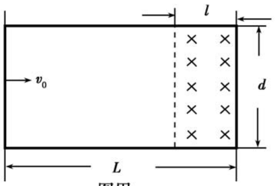
方法　电磁感应中滑轨类问题的分析方法

这类问题的实质是不同形式的能量的转化过程,从功和能的观点入手,弄清导体切割磁感线运动过程中的能量转化关系,处理这类问题有三种观点,即:①力学观点;②能量观点;③图像观点。

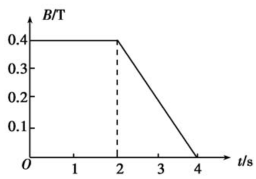
1.单杆模型的常见情况

	$v_0\neq0$	$v_0=0$		
示意图	 质量为 m,电阻不计的单杆 ab,以一定初速度 v_0 在光滑水平轨道上滑动,两平行导轨间距为 L	 轨道水平光滑,单杆 ab 质量为 m,电阻不计,两平行导轨间距为 L	 轨道水平光滑,单杆 ab 质量为 m,电阻不计,两平行导轨间距为 L,拉力 F 恒定	 轨道水平光滑,单杆 ab 质量为 m,电阻不计,两平行导轨间距为 L,拉力 F 恒定
力学观点	导体杆以速度 v 切割磁感线产生感应电动势 $E=BLv$,电流 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{BLv}{R}$,安培力 $F=BIL=\dfrac{B^2L^2v}{R}$,做减速运动: $v\downarrow\Rightarrow F\downarrow\Rightarrow a\downarrow$,当 $v=0$ 时,$F=0$,$a=0$,杆保持静止	S 闭合,ab 杆受安培力 $F=\dfrac{BLE}{r}$,此时 $a=\dfrac{BLE}{mr}$,杆 ab 速度 $v\uparrow\Rightarrow$ 感应电动势 $BLv\uparrow\Rightarrow I\downarrow\Rightarrow$ 安培力 $F=BIL\downarrow\Rightarrow$ 加速度 $a\downarrow$,当 $E_{感}=E$ 时,v 最大,且 $v_m=\dfrac{E}{BL}$	开始时 $a=\dfrac{F}{m}$,杆 ab 速度 $v\uparrow\Rightarrow$ 感应电动势 $E=BLv\uparrow\Rightarrow I\uparrow\Rightarrow$ 安培力 $F_{安}=BIL\uparrow$,由 $F-F_{安}=ma$ 知 $a\downarrow$,当 $a=0$ 时,v 最大,$v_m=\dfrac{FR}{B^2L^2}$	开始时 $a=\dfrac{F}{m}$,杆 ab 速度 $v\uparrow\Rightarrow$ 感应电动势 $E=BLv\uparrow$,经过 Δt 速度为 $v+\Delta v$,此时感应电动势 $E'=BL(v+\Delta v)$,Δt 时间内流入电容器的电荷量 $\Delta q=C\Delta U=C(E'-E)=CBL\Delta v$ 电流 $I=\dfrac{\Delta q}{\Delta t}=CBL\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=CBLa$ 安培力 $F_{安}=BLI=CB^2L^2a$ $F-F_{安}=ma$,$a=\dfrac{F}{m+B^2L^2C}$,所以杆以恒定的加速度匀加速运动
图像观点				
能量观点	动能全部转化为内能: $Q=\dfrac{1}{2}mv_0^2$	电源输出的电能转化为动能: $W_{电}=\dfrac{1}{2}mv_m^2$	F 做的功一部分转化为杆的动能,一部分产生电热: $W_F=Q+\dfrac{1}{2}mv_m^2$	F 做的功一部分转化为动能,一部分转化为电场能: $W_F=\dfrac{1}{2}mv^2+E_C$

例1　如图甲所示,在水平面上固定有长为$L=2$ m、宽为$d=1$ m的金属“U”形导轨,在“U”形导轨右侧$l=0.5$ m范围内存在垂直纸面向里的匀强磁场,且磁感应强度随时间变化规律如图乙所示。在$t=0$时刻,质量为$m=0.1$ kg的导体棒以$v_0=1$ m/s的初速度从导轨的左端开始向右运动,导体棒与导轨之间的动摩擦因数为$\mu=0.1$,导轨与导体棒单位长度的电阻均为$\lambda=0.1$ Ω/m,不计导体棒与导轨之间的接触电阻及地球磁场的影响(取$g=10$ m/s²)。



图甲



图乙

(1)通过计算分析4 s内导体棒的运动情况;

(2)计算4 s内回路中电流的大小,并判断电流方向;

(3)计算4 s内回路产生的焦耳热。

解析　(1)导体棒先在无磁场区域做匀减速运动,有

$-\mu mg=ma, v_t=v_0+at, x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

导体棒速度减为零时,$v_t=0$。

代入数据解得:$t=1$ s,$x=0.5$ m,导体棒没有进入磁场区域。

导体棒在1 s末已停止运动,以后一直保持静止,离左端位置仍为$x=0.5$ m

(2)前2 s磁通量不变,回路电动势和电流分别为

$E=0, I=0$

后2 s回路产生的电动势为

$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=ld\frac{\Delta B}{\Delta t}=0.1$ V

回路的总长度为5 m,因此回路的总电阻为

$R=5\lambda=0.5$ Ω

电流为$I=\frac{E}{R}=0.2$ A

根据楞次定律,在回路中的电流方向是顺时针方向

(3)前2 s电流为零,后2 s有恒定电流,焦耳热为

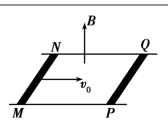
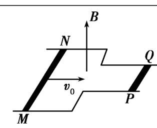
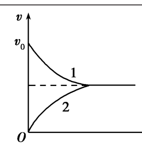
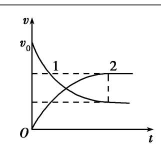
$Q=I^2Rt=0.04$ J

答案　见解析

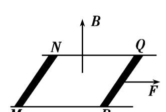
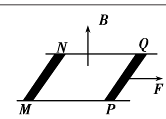
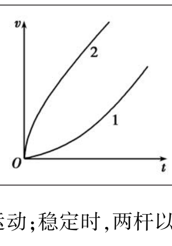
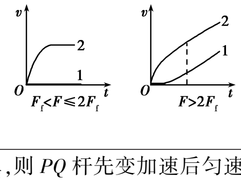
名师点拨　本题综合了牛顿运动定律、运动学公式、法拉第电磁感应定律和楞次定律、电能等知识,难度适中。考查学生的理解分析能力和判断推理能力。

2.双杆模型的常见情况

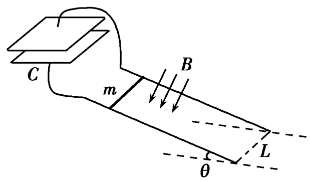
(1)初速度不为零,不受其他水平外力的作用

	光滑的平行导轨	光滑不等距导轨
示意图	 质量$m_1=m_2$ 电阻$r_1=r_2$ 长度$L_1=L_2$	 质量$m_1=m_2$ 电阻$r_1=r_2$ 长度$L_1=2L_2$
规律		
分析	杆MN做变减速运动,杆PQ做变加速运动,稳定时,两杆的加速度均为零,以相等的速度匀速运动	杆MN做变减速运动,杆PQ做变加速运动,稳定时,两杆的加速度均为零,两杆的速度之比为1∶2

(2)初速度为零,一杆受到恒定水平外力的作用

	光滑的平行导轨	不光滑平行导轨
示意图	 质量$m_1=m_2$ 电阻$r_1=r_2$ 长度$L_1=L_2$	 摩擦力$F_{f1}=F_{f2}$ 质量$m_1=m_2$ 电阻$r_1=r_2$ 长度$L_1=L_2$
规律		
分析	开始时,两杆做变加速运动;稳定时,两杆以相同的加速度做匀加速运动	开始时,若$F_f<F\le 2F_f$,则PQ杆先变加速后匀速运动;MN杆静止。若$F>2F_f$,PQ杆先变加速后匀加速运动,MN杆先静止后变加速最后和PQ杆同时做匀加速运动,且加速度相同

例2　如图,两条平行导轨所在平面与水平地面的夹角为 θ,间距为 L。导轨上端接有一平行板电容器,电容为 C。导轨处于匀强磁场中,磁感应强度大小为 B,方向垂直于导轨平面。在导轨上放置一质量为 m 的金属棒,棒可沿导轨下滑,且在下滑过程中保持与导轨垂直并良好接触。已知金属棒与导轨之间的动摩擦因数为 μ,重力加速度大小为 g。忽略所有电阻。让金属棒从导轨上端由静止开始下滑,求:



(1)电容器极板上积累的电荷量与金属棒速度大小的关系;

(2)金属棒的速度大小随时间变化的关系。

解析　(1)设金属棒下滑的速度大小为 v,则感应电动势为

$E=BLv$　①

平行板电容器两极板之间的电势差为

$U=E$　②

设此时电容器极板上积累的电荷量为 Q,按定义有

$C=\dfrac{Q}{U}$　③

联立①②③式得

$Q=CBLv$　④

(2)设金属棒的速度大小为 v 时经历的时间为 t,通过金属棒的电流为 i,金属棒受到的磁场的作用力方向沿导轨向上,大小为

$f_1=BLi$　⑤

设在时间间隔 $(t,t+\Delta t)$ 内流经金属棒的电荷量为 ΔQ,按定义有

$i=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$　⑥

ΔQ 也是平行板电容器极板在时间间隔 $(t,t+\Delta t)$ 内增加的电荷量。由④式得

$\Delta Q=CBL\Delta v$　⑦

式中,Δv 为金属棒的速度变化量。按定义有

$a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$　⑧

金属棒所受到的摩擦力方向斜向上,大小为

$f_2=\mu N$　⑨

式中,N 是金属棒对导轨的正压力的大小,有

$N=mg\cos\theta$　⑩

金属棒在时刻 t 的加速度方向沿斜面向下,设其大小为 a,根据牛顿第二定律有

$mg\sin\theta-f_1-f_2=ma$　⑪

联立⑤至⑪式得

$a=\dfrac{m(\sin\theta-\mu\cos\theta)}{m+B^2L^2C}g$　⑫

由⑫式及题设可知,金属棒做初速度为零的匀加速运动。t 时刻金属棒的速度大小为

$v=\dfrac{m(\sin\theta-\mu\cos\theta)}{m+B^2L^2C}gt$　⑬

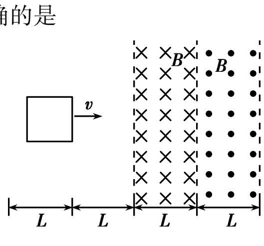
答案　(1)$Q=CBLv$　(2)$v=\dfrac{m(\sin\theta-\mu\cos\theta)}{m+B^2L^2C}gt$

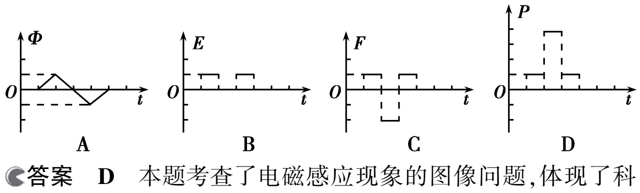
方法集训

对应学生用书起始页码 137

方法　电磁感应中滑轨类问题的分析方法

1.(2020届广西钦州摸底,6)如图所示为两个有界匀强磁场,磁感应强度大小均为 B,方向分别垂直纸面向里和向外,磁场宽度均为 L,距磁场区域的左侧 L 处,有一边长为 L 的正方形导体线框,总电阻为 R,且线框平面与磁场方向垂直。现用外力 F 使线框以速度 v 匀速穿过磁场区域,以初始位置为计时起点,规定电流沿逆时针方向时的电动势 E 为正,磁感线垂直纸面向里时磁通量 Φ 的方向为正,外力 F 向右为正。则以下关于线框中的磁通量 Φ、感应电动势 E、外力 F 和电功率 P 随时间变化的图像正确的是　(　　)





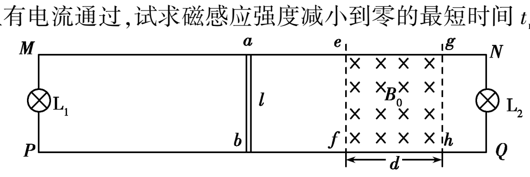
答案　D　本题考查了电磁感应现象的图像问题,体现了科学思维中的科学论证要素。

当线框运动 L 时开始进入磁场,磁通量开始增加,当全部进入时达到最大;此后向外的磁通量增加,总磁通量减小;当运动到 $2.5L$ 时,磁通量为零,故选项A错误。当线框进入第一个磁场时,由 $E=BLv$ 可知,E 保持不变,而开始进入第二个磁场时,两边同时切割磁感线,电动势应为 $2BLv$,故选项B错误。因安培力总是与运动方向相反,故拉力应一直向右,故选项C错误。拉力的功率 $P=Fv$,因速度不变,而线框在第一个磁场时,电流为定值,拉力也为定值;两边分别在两个磁场中时,由选项B的分析可知,电流加倍,回路中总电动势加倍,功率变为原来的4倍;此后从第二个磁场中离开时,安培力应等于线框在第一个磁场中的安培力,所以功率应等于在第一个磁场中的功率,故选项D正确。

2.(2018甘肃兰州模拟,10)如图所示,光滑的足够长的平行水平金属导轨 MN、PQ 相距 l,在 M、P 点和 N、Q 点间各连接一个额定电压为 U、阻值恒为 R 的灯泡,在两导轨间 $efhg$ 矩形区域内有垂直导轨平面竖直向下、宽为 d 的有界匀强磁场,磁感应强度为 B_0,且磁场区域可以移动。一电阻也为 R、长度也刚好为 l 的导体棒 ab 垂直固定在磁场左边的导轨上,离灯 L_1 足够远。现让匀强磁场在导轨间以某一恒定速度向左移动,当棒 ab 处于磁场中时两灯恰好正常发光,棒 ab 与导轨始终保持良好接触,导轨电阻不计。

(1)求磁场移动的速度 v_0。

(2)若取走导体棒 ab,保持磁场不移动(仍在 $efhg$ 矩形区域),而是均匀改变磁感应强度的大小,为保证两灯都不会烧坏且有电流通过,试求磁感应强度减小到零的最短时间 t_{min}。



答案 (1)$\frac{3U}{B_0l}$ (2)$\frac{B_0ld}{2U}$

解析 (1)根据法拉第电磁感应定律有:$E=B_0lv_0$

而 $E=U_{外}+Ir=U+2(\frac{U}{R})R=3U$

解得:$v_0=\frac{3U}{B_0l}$

(2)设经时间 t 磁感应强度从 B_0 均匀减小到零,则:

感应电动势 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B}{\Delta t}ld=\frac{B_0}{t}ld$

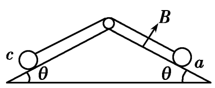
感应电流 $I=\frac{E}{2R}$

解得:$I=\frac{B_0ld}{2Rt}$

为保证灯不烧坏,电流的最大值 $I_m=\frac{U}{R}$

电流最大对应时间最小,解得:$t_{min}=\frac{B_0ld}{2U}$。

3.(2016课标Ⅰ,24,14分)如图,两固定的绝缘斜面倾角均为 θ,上沿相连。两细金属棒 ab(仅标出 a 端)和 cd(仅标出 c 端)长度均为 L,质量分别为 $2m$ 和 m;用两根不可伸长的柔软轻导线将它们连成闭合回路 $abdca$,并通过固定在斜面上沿的两光滑绝缘小定滑轮跨放在斜面上,使两金属棒水平。右斜面上存在匀强磁场,磁感应强度大小为 B,方向垂直于斜面向上。已知两根导线刚好不在磁场中,回路电阻为 R,两金属棒与斜面间的动摩擦因数均为 μ,重力加速度大小为 g。已知金属棒 ab 匀速下滑。求



(1)作用在金属棒 ab 上的安培力的大小;

(2)金属棒运动速度的大小。

答案 (1)$mg(\sin\theta-3\mu\cos\theta)$ (2)$(\sin\theta-3\mu\cos\theta)\frac{mgR}{B^2L^2}$

解析 (1)设两导线的张力大小之和为 T,右斜面对 ab 棒的支持力的大小为 N_1,作用在 ab 棒上的安培力的大小为 F,左斜面对 cd 棒的支持力大小为 N_2。对于 ab 棒,由力的平衡条件得

$2mg\sin\theta=\mu N_1+T+F$ ①

$N_1=2mg\cos\theta$ ②

对于 cd 棒,同理有

$mg\sin\theta+\mu N_2=T$ ③

$N_2=mg\cos\theta$ ④

联立①②③④式得

$F=mg(\sin\theta-3\mu\cos\theta)$ ⑤

(2)由安培力公式得

$F=BIL$ ⑥

这里 I 是回路 $abdca$ 中的感应电流。ab 棒上的感应电动势为

$\varepsilon=BLv$ ⑦

式中,v 是 ab 棒下滑速度的大小。由欧姆定律得

$I=\frac{\varepsilon}{R}$ ⑧

联立⑤⑥⑦⑧式得

$v=(\sin\theta-3\mu\cos\theta)\frac{mgR}{B^2L^2}$ ⑨

解题指导 解答此题的关键是对 ab、cd 棒受力分析,由平衡条件求出 ab 棒受到的安培力,再由金属棒切割磁感线产生的感应电动势确定出金属棒的速度。

5年高考 2015-2019 对应学生用书 起始页码258

A组 基础题组

1.(2019课标Ⅲ,14,6分)楞次定律是下列哪个定律在电磁感应现象中的具体体现? ( )

A.电阻定律　　B.库仑定律

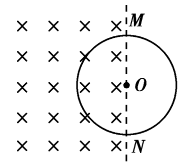
C.欧姆定律　　D.能量守恒定律

答案 D 本题考查了对基本规律的理解能力,体现了能量观念这一重要核心素养。

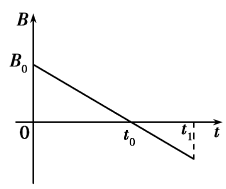
楞次定律的本质是感应磁场中能量的转化,是能量守恒定律在电磁感应现象中的具体体现,故选项D正确。

规律总结 电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$ 是导体对电流阻碍作用的体现;库仑定律是对真空中静止点电荷之间作用力的认识;欧姆定律是通过导体的电流与导体两端电压、导体电阻关系的体现。

2.(2019课标Ⅰ,20,6分)(多选)空间存在一方向与纸面垂直、大小随时间变化的匀强磁场,其边界如图(a)中虚线 MN 所示。一硬质细导线的电阻率为 ρ、横截面积为 S,将该导线做成半径为 r 的圆环固定在纸面内,圆心 O 在 MN 上。$t=0$ 时磁感应强度的方向如图(a)所示;磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图(b)所示。则在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内 ( )



图(a)



图(b)

A.圆环所受安培力的方向始终不变

B.圆环中的感应电流始终沿顺时针方向

C.圆环中的感应电流大小为$\frac{B_0rS}{4t_0\rho}$

D.圆环中的感应电动势大小为$\frac{B_0\pi r^2}{4t_0}$

答案 BC 本题考查电磁感应中的楞次定律、感应电动势、感应电流、左手定则和电阻定律,以及推理能力和综合分析能力,体现了模型建构、科学推理的核心素养。

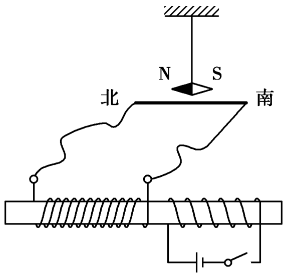
由楞次定律("增反减同")可判断出感应电流方向始终沿顺时针方向,故B正确。由左手定则可判断出圆环所受安培力的方向先向左后向右,故A错。感应电动势 $E=S_{有效}\frac{\Delta B}{\Delta t}=\frac{1}{2}\cdot\pi r^2\cdot\frac{B_0}{t_0}=\frac{\pi r^2B_0}{2t_0}$,故D错。由电阻定律得圆环电阻 $R=$

$\rho\dfrac{2\pi r}{S}$，则感应电流 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{B_0 rS}{4t_0\rho}$，故 C 正确。

易错警示　(1)推理过程中一定要细心。本题分析得到感应电流方向始终沿顺时针方向时，若由此盲目认为安培力方向始终不变，则易错选 A。

(2)感应电动势 $E=S_{有效}\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ 中的 $S_{有效}$ 为圆环回路在磁场中的面积，而不是圆环回路的面积。

3.(2018 课标Ⅰ,19,6 分)(多选)如图，两个线圈绕在同一根铁芯上，其中一线圈通过开关与电源连接，另一线圈与远处沿南北方向水平放置在纸面内的直导线连接成回路。将一小磁针悬挂在直导线正上方，开关未闭合时小磁针处于静止状态。下列说法正确的是　(　　)



A.开关闭合后的瞬间，小磁针的 N 极朝垂直纸面向里的方向转动

B.开关闭合并保持一段时间后，小磁针的 N 极指向垂直纸面向里的方向

C.开关闭合并保持一段时间后，小磁针的 N 极指向垂直纸面向外的方向

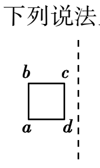
D.开关闭合并保持一段时间再断开后的瞬间，小磁针的 N 极朝垂直纸面向外的方向转动

答案　AD　本题考查电流的磁效应、楞次定律等知识。当开关闭合瞬间，右侧线圈中电流突然增大，铁芯上向右的磁场增强，由楞次定律可知左侧线圈中正面感应电流向上，则远处直导线上电流向左，由安培定则可知小磁针处直导线上电流产生的磁场方向垂直纸面向里，A 项正确。开关闭合并保持一段时间后，磁场不再变化，左侧线圈中没有感应电流，小磁针 N、S 极回到原始方向，故 B、C 两项错误。开关断开的瞬间，右侧线圈中电流减小，左侧线圈正面感应电流向下，远处直导线上电流向右，由安培定则知，小磁针处直导线上电流产生的磁场方向垂直纸面向外，故 D 项正确。

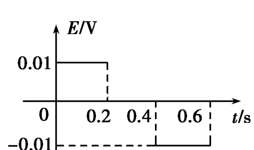
审题指导　关键词在审题中的作用

关键词：①同一根铁芯，意味着左右两侧线圈中磁通量变化率相同；②远处，说明此处小磁针不再受线圈中磁通量变化的影响；③小磁针悬挂在直导线正上方，说明磁针的偏转受直导线上电流产生的磁场影响。

4.(2017 课标Ⅱ,20,6 分)(多选)两条平行虚线间存在一匀强磁场，磁感应强度方向与纸面垂直。边长为 0.1 m、总电阻为 0.005 Ω的正方形导线框 $abcd$ 位于纸面内，cd 边与磁场边界平行，如图(a)所示。已知导线框一直向右做匀速直线运动，cd 边于 $t=0$ 时刻进入磁场。线框中感应电动势随时间变化的图线如图(b)所示(感应电流的方向为顺时针时，感应电动势取正)。下列说法正确的是　(　　)



图(a)



图(b)

A.磁感应强度的大小为 0.5 T

B.导线框运动速度的大小为 0.5 m/s

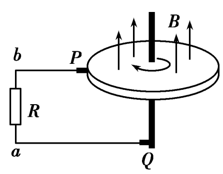
C.磁感应强度的方向垂直于纸面向外

D.在 $t=0.4$ s 至 $t=0.6$ s 这段时间内，导线框所受的安培力大小为 0.1 N

答案　BC　导线框匀速进入磁场时速度 $v=\dfrac{L}{t}=\dfrac{0.1}{0.2}$ m/s = 0.5 m/s，选项 B 正确；由 $E=BLv$，得 $B=\dfrac{E}{Lv}=\dfrac{0.01}{0.1\times0.5}$ T = 0.2 T，选项 A 错误；由右手定则可确定磁感应强度方向垂直于纸面向外，选项 C 正确；导线框所受安培力 $F=BLI=BL\dfrac{E}{R}=0.2\times0.1\times\dfrac{0.01}{0.005}$ N = 0.04 N，选项 D 错误。

储备知识　根据图像和导线框匀速运动，获取信息，结合安培力、导体切割磁感线产生感应电动势可以确定选项。

5.(2016 课标Ⅱ,20,6 分)(多选)法拉第圆盘发电机的示意图如图所示。铜圆盘安装在竖直的铜轴上，两铜片 P、Q 分别与圆盘的边缘和铜轴接触。圆盘处于方向竖直向上的匀强磁场 B 中。圆盘旋转时，关于流过电阻 R 的电流，下列说法正确的是　(　　)



A.若圆盘转动的角速度恒定，则电流大小恒定

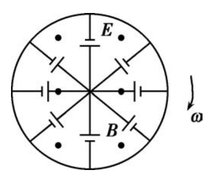
B.若从上向下看，圆盘顺时针转动，则电流沿 a 到 b 的方向流动

C.若圆盘转动方向不变，角速度大小发生变化，则电流方向可能发生变化

D.若圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍，则电流在 R 上的热功率也变为原来的 2 倍

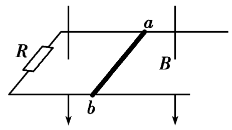
答案　AB　设圆盘的半径为 L，可认为圆盘由无数根辐条构成，则每根辐条切割磁感线产生的感应电动势 $E=\dfrac{1}{2}BL^2\omega$，整个回路中的电源为无数个电动势为 E 的电源并联而成，电源总内阻为零，故回路中电流 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{BL^2\omega}{2R}$，由此可见 A 正确。$R$ 上的热功率 $P=I^2R=\dfrac{B^2L^4\omega^2}{4R}$，由此可见，$\omega$ 变为原来的 2 倍时，P 变为原来的 4 倍，故 D 错。由右手定则可判知 B 正确。电流方向与导体切割磁感线的方向有关，而与切割的速度大小无关，故 C 错。

疑难突破　金属圆盘在恒定的匀强磁场中转动时，其等效电源的模型如图所示，每个电源的电动势 $E=\dfrac{1}{2}BL^2\omega$(L 为圆盘的半径)，内阻为 r_0，则 n 个电源并联后的总电动势仍为 E，总内阻 $r=\dfrac{r_0}{n}$，$n\to\infty$ 时，$r=0$。



评析　本题以转动的圆盘为背景，考查了考生构建模型的能力。从知识角度，本题考查了感应电动势、右手定则、闭合电路欧姆定律、电功率等基础知识，综合性较强，属于中等难度题。

6.(2017天津理综,3,6分)如图所示,两根平行金属导轨置于水平面内,导轨之间接有电阻 R。金属棒 ab 与两导轨垂直并保持良好接触,整个装置放在匀强磁场中,磁场方向垂直于导轨平面向下。现使磁感应强度随时间均匀减小,ab 始终保持静止,下列说法正确的是 ( )



A.ab 中的感应电流方向由 b 到 a

B.ab 中的感应电流逐渐减小

C.ab 所受的安培力保持不变

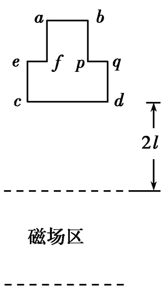
D.ab 所受的静摩擦力逐渐减小

答案 D 本题考查楞次定律、电磁感应定律、闭合电路欧姆定律、安培力、平衡条件。由于通过回路的磁通量向下减小,则根据楞次定律可知 ab 中感应电流的方向由 a 到 b,A 错误。因 ab 不动,回路面积不变;当 B 均匀减小时,由 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\dfrac{\Delta B}{\Delta t}S$知,产生的感应电动势恒定,回路中感应电流 $I=\dfrac{E}{R+r}$恒定,B 错误。由 $F=BIL$ 知 F 随 B 减小而减小,C 错误。对 ab 由平衡条件有$f=F$,故 D 正确。

一题多解 广义楞次定律

因 B 减小时引起回路磁通量减小,由广义楞次定律可知回路有扩张的趋势,则 ab 所受安培力方向向右,再由左手定则可以判定 ab 中感应电流的方向从 a 到 b,故 A 错误。

7.(2015天津理综,11,18分)如图所示,"凸"字形硬质金属线框质量为 m,相邻各边互相垂直,且处于同一竖直平面内,ab 边长为 l,cd 边长为 $2l$,ab 与 cd 平行,间距为 $2l$。匀强磁场区域的上下边界均水平,磁场方向垂直于线框所在平面。开始时,cd 边到磁场上边界的距离为 $2l$,线框由静止释放,从 cd 边进入磁场直到 ef、pq 边进入磁场前,线框做匀速运动。在 ef、pq 边离开磁场后,ab 边离开磁场之前,线框又做匀速运动。线框完全穿过磁场过程中产生的热量为 Q。线框在下落过程中始终处于原竖直平面内,且 ab、cd 边保持水平,重力加速度为 g。求



(1)线框 ab 边将离开磁场时做匀速运动的速度大小是 cd 边刚进入磁场时的几倍;

(2)磁场上下边界间的距离 H。

答案 (1)4倍 (2)$\dfrac{Q}{mg}+28l$

解析 (1)设磁场的磁感应强度大小为 B,cd 边刚进入磁场时,线框做匀速运动的速度为 v_1,cd 边上的感应电动势为 E_1,由法拉第电磁感应定律,有

$$E_1=2Blv_1 \quad ①$$

设线框总电阻为 R,此时线框中电流为 I_1,由闭合电路欧姆定律,有

$$I_1=\frac{E_1}{R} \quad ②$$

设此时线框所受安培力为 F_1,有

$$F_1=2I_1lB \quad ③$$

由于线框做匀速运动,其受力平衡,有

$$mg=F_1 \quad ④$$

由①②③④式得

$$v_1=\frac{mgR}{4B^2l^2} \quad ⑤$$

设 ab 边离开磁场之前,线框做匀速运动的速度为 v_2,同理可得

$$v_2=\frac{mgR}{B^2l^2} \quad ⑥$$

由⑤⑥式得

$$v_2=4v_1 \quad ⑦$$

(2)线框自释放直到 cd 边进入磁场前,由机械能守恒定律,有

$$2mgl=\frac{1}{2}mv_1^2 \quad ⑧$$

线框完全穿过磁场的过程中,由能量守恒定律,有

$$mg(2l+H)=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2+Q \quad ⑨$$

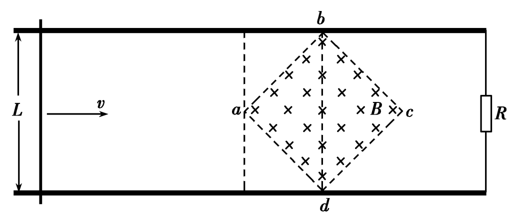
由⑦⑧⑨式得

$$H=\frac{Q}{mg}+28l \quad ⑩$$

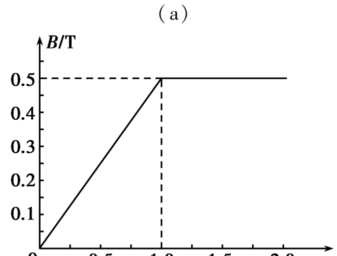
8.(2015广东理综,35,18分)如图(a)所示,平行长直金属导轨水平放置,间距 $L=0.4$ m。导轨右端接有阻值 $R=1\ \Omega$ 的电阻。导体棒垂直放置在导轨上,且接触良好。导体棒及导轨的电阻均不计。导轨间正方形区域 $abcd$ 内有方向竖直向下的匀强磁场,b、d 连线与导轨垂直,长度也为 L。从0时刻开始,磁感应强度 B 的大小随时间 t 变化,规律如图(b)所示;同一时刻,棒从导轨左端开始向右匀速运动,1 s后刚好进入磁场。若使棒在导轨上始终以速度 $v=1$ m/s 做直线运动,求:

(1)棒进入磁场前,回路中的电动势 E;

(2)棒在运动过程中受到的最大安培力 F,以及棒通过三角形 abd 区域时电流 i 与时间 t 的关系式。



(a)



(b)

答案 (1)0.04 V

(2)0.04 N $i=t-1$(1 s≤t≤1.2 s)

解析 (1)由图(b)可知0~1.0 s内 B 的变化率 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=0.5$ T/s ①

正方形磁场区域的面积

$$S=\left(\frac{L}{\sqrt{2}}\right)^2=0.08\ \text{m}^2 \quad ②$$

棒进入磁场前0~1.0 s内回路中的感应电动势

$$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{S\Delta B}{\Delta t} \quad ③$$

由①②③得 $E=0.08\times0.5$ V$=0.04$ V

(2)当棒通过 bd 位置时,有效切割长度最大,感应电流最大,棒受到最大安培力

$$F=BIL \quad ④$$

棒过 bd 时的感应电动势

$E_m = BLv = 0.5\times0.4\times1\ \text{V} = 0.2\ \text{V}$　⑤

棒过 bd 时的电流

$I = \dfrac{E_m}{R}$　⑥

由④⑤⑥得

$F = 0.04\ \text{N}$

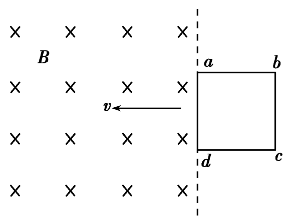
棒通过 a 点后在三角形 abd 区域中的有效切割长度 L' 与时间 t 的关系：

$L' = 2v(t-1)$，其中 t 的取值范围为 $1\ \text{s}\leqslant t\leqslant1.2\ \text{s}$　⑦

电流 i 与时间 t 的关系式

$i = \dfrac{BL'v}{R} = \dfrac{2Bv^2(t-1)}{R} = t-1\,(1\ \text{s}\leqslant t\leqslant1.2\ \text{s})$　⑧

9.(2019 北京理综,22,16 分) 如图所示，垂直于纸面的匀强磁场磁感应强度为 B。纸面内有一正方形均匀金属线框 $abcd$，其边长为 L，总电阻为 R，ad 边与磁场边界平行。从 ad 边刚进入磁场直至 bc 边刚要进入的过程中，线框在向左的拉力作用下以速度 v 匀速运动，求：



(1)感应电动势的大小 E；

(2)拉力做功的功率 P；

(3)ab 边产生的焦耳热 Q。

答案　(1)BLv　(2)$\dfrac{B^2L^2v^2}{R}$　(3)$\dfrac{B^2L^3v}{4R}$

解析　本题为法拉第电磁感应定律的应用问题，考查考生的理解能力与综合分析能力，体现了物质观念、模型建构、科学推理等核心素养。

(1)由法拉第电磁感应定律可得，感应电动势

$E = BLv$

(2)线圈中的感应电流 $I = \dfrac{E}{R}$

拉力大小等于安培力大小 $F = BIL$

拉力的功率 $P = Fv = \dfrac{B^2L^2v^2}{R}$

(3)线圈 ab 边电阻 $R_{ab} = \dfrac{R}{4}$

时间 $t = \dfrac{L}{v}$

ab 边产生的焦耳热 $Q = I^2R_{ab}t = \dfrac{B^2L^3v}{4R}$

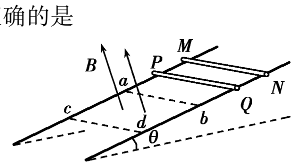
思路分析　1.线框进入磁场的过程中，ad 边切割磁感线产生感应电动势；

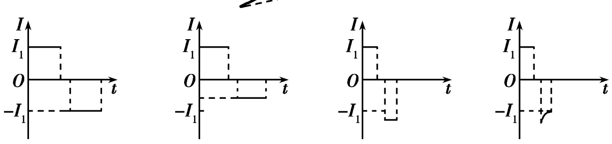
2.线框匀速运动，拉力等于安培力，即 $F_{拉} = F_{安} = BIL$；

3.ab 边产生的焦耳热仅为整个线框产生的焦耳热的四分之一。

B 组　提升题组

1.(2019 课标Ⅱ,21,6 分)(多选)如图，两条光滑平行金属导轨固定，所在平面与水平面夹角为 θ，导轨电阻忽略不计。虚线 ab、cd 均与导轨垂直，在 ab 与 cd 之间的区域存在垂直于导轨所在平面的匀强磁场。将两根相同的导体棒 PQ、MN 先后自导轨上同一位置由静止释放，两者始终与导轨垂直且接触良好。已知 PQ 进入磁场时加速度恰好为零。从 PQ 进入磁场开始计时，到 MN 离开磁场区域为止，流过 PQ 的电流随时间变化的图像可能正确的是　(　　)





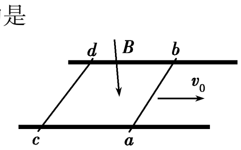
A　B　C　D

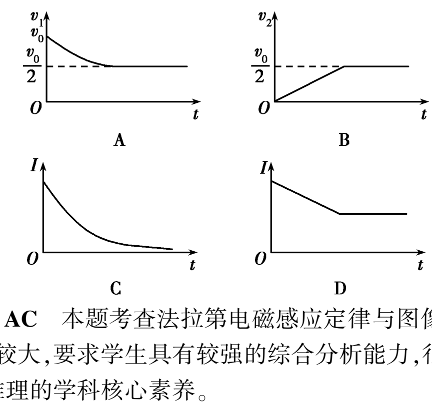
答案　**AD**　本题为电磁感应综合应用中的双棒问题，考查考生的综合分析能力，体现了模型建构、科学推理等核心素养以及严谨的科学态度。

两棒均由同一位置由静止释放，则进入磁场时，两棒的速度相等。若 PQ 棒出磁场后，MN 棒再进入磁场，则 MN 棒做匀速运动切割磁感线，则通过 PQ 棒上的电流随时间变化的图像为 A 图；若 PQ 棒出磁场前 MN 棒进入磁场，则 PQ 棒与 MN 棒在磁场中做加速运动，当 PQ 棒出磁场后，MN 棒切割磁感线运动的速度比进入时的大，MN 棒做减速运动，通过 PQ 棒的电流随时间变化的图像应为 D 图。

知识拓展　若 PQ 棒刚出磁场时，MN 棒恰好进入磁场，则 PQ 棒上一直会有电流存在。

2.(2019 课标Ⅲ,19,6 分)(多选)如图，方向竖直向下的匀强磁场中有两根位于同一水平面内的足够长的平行金属导轨，两相同的光滑导体棒 ab、cd 静止在导轨上。$t=0$ 时，棒 ab 以初速度 v_0 向右滑动。运动过程中，ab、cd 始终与导轨垂直并接触良好，两者速度分别用 v_1、v_2 表示，回路中的电流用 I 表示。下列图像中可能正确的是　(　　)





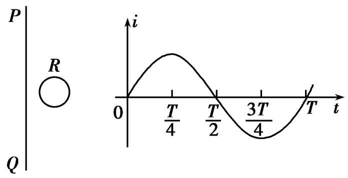
答案　**AC**　本题考查法拉第电磁感应定律与图像结合的问题，难度较大，要求学生具有较强的综合分析能力，很好地体现了科学推理的学科核心素养。

由楞次定律可知 ab 棒做减速运动，cd 棒做加速运动，即 v_1 减小，v_2 增加。回路中的感应电动势 $E = BL(v_1-v_2)$，回路中的电流 $I = \dfrac{E}{R} = \dfrac{BL(v_1-v_2)}{R}$，回路中的导体棒 ab、cd 的加速度大小均为 $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{BIL}{m} = \dfrac{B^2L^2(v_1-v_2)}{mR}$，由于 v_1-v_2 减小，可知 a 减小，所以 ab 与 cd 的 v-t 图线斜率减小，I 也非线性减小，所以 A、C

正确,B、D 错误。

思路分析 对于电磁感应中的图像问题,解法一般是利用物理规律推出 v-t、I-t 的函数表达式,对照图像得出结论;也可以利用物理规律定性地分析出 I 与 t、v 与 t 的关系,利用排除法得出结论。

3.(2018 课标Ⅲ,20,6 分)(多选)如图(a),在同一平面内固定有一长直导线 PQ 和一导线框 R,R 在 PQ 的右侧。导线 PQ 中通有正弦交流电 i,i 的变化如图(b)所示,规定从 Q 到 P 为电流正方向。导线框 R 中的感应电动势 ( )



图(a) 图(b)

A.在 $t=\frac{T}{4}$ 时为零

B.在 $t=\frac{T}{2}$ 时改变方向

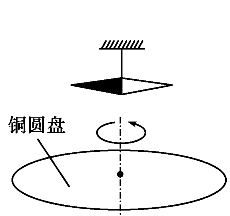
C.在 $t=\frac{T}{2}$ 时最大,且沿顺时针方向

D.在 $t=T$ 时最大,且沿顺时针方向

答案 AC 本题考查楞次定律的应用及法拉第电磁感应定律。由 i-t 图像可知,在 $t=\frac{T}{4}$ 时,$\frac{\Delta i}{\Delta t}=0$,此时穿过导线框 R 的磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0$,由法拉第电磁感应定律可知,此时导线框 R 中的感应电动势为 0,选项 A 正确;同理在 $t=\frac{T}{2}$ 和 $t=T$ 时,$\frac{\Delta i}{\Delta t}$ 为最大值,$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 为最大值,导线框 R 中的感应电动势为最大值,不改变方向,选项 B 错误;根据楞次定律,$t=\frac{T}{2}$ 时,导线框 R 中的感应电动势的方向为顺时针方向,而 $t=T$ 时,导线框 R 中的感应电动势的方向为逆时针方向,选项 C 正确,选项 D 错误。

一题多解 当导线 PQ 中电流变大时,穿过导线框 R 的磁通量变大,由楞次定律可知,为阻碍磁通量变大,R 有向右的运动趋势,根据两直导线电流同向相吸,异向相斥,可判断 R 中的电流方向。同理,可判断当导线 PQ 中电流变小时导线框 R 中的电流方向。

4.(2015 课标Ⅰ,19,6 分)(多选)1824 年,法国科学家阿拉果完成了著名的"圆盘实验"。实验中将一铜圆盘水平放置,在其中心正上方用柔软细线悬挂一枚可以自由旋转的磁针,如图所示。实验中发现,当圆盘在磁针的磁场中绕过圆盘中心的竖直轴旋转时,磁针也随着一起转动起来,但略有滞后。下列说法正确的是 ( )



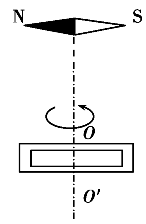
A.圆盘上产生了感应电动势

B.圆盘内的涡电流产生的磁场导致磁针转动

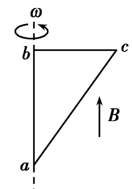
C.在圆盘转动的过程中,磁针的磁场穿过整个圆盘的磁通量发生了变化

D.圆盘中的自由电子随圆盘一起运动形成电流,此电流产生的磁场导致磁针转动

答案 AB 如图所示,将铜圆盘等效为无数个长方形线圈的组合,则每个线圈绕 OO' 轴转动时,均有感应电流产生,这些感应电流产生的磁场对小磁针有作用力,从而使小磁针转动起来,可见 A、B 均正确。由于圆盘面积不变,与磁针间的距离不变,故整个圆盘中的磁通量没有变化,C 错误。圆盘中的自由电子随圆盘一起运动形成的电流的磁场,由安培定则可判断在中心方向竖直向下,其他位置关于中心对称,此磁场不会导致磁针转动,D 错误。



5.(2015 课标Ⅱ,15,6 分)如图,直角三角形金属框 abc 放置在匀强磁场中,磁感应强度大小为 B,方向平行于 ab 边向上。当金属框绕 ab 边以角速度 ω 逆时针转动时,a、b、c 三点的电势分别为 U_a、U_b、U_c。已知 bc 边的长度为 l。下列判断正确的是 ( )



A.$U_a>U_c$,金属框中无电流

B.$U_b>U_c$,金属框中电流方向沿 a-b-c-a

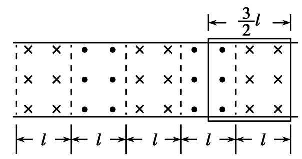
C.$U_{bc}=-\frac{1}{2}Bl^2\omega$,金属框中无电流

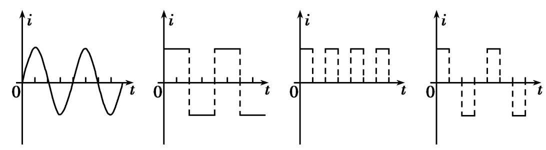
D.$U_{ac}=\frac{1}{2}Bl^2\omega$,金属框中电流方向沿 a-c-b-a

答案 C 闭合金属框在匀强磁场中以角速度 ω 逆时针转动时,穿过金属框的磁通量始终为零,金属框中无电流。由右手定则可知 $U_b=U_a<U_c$,A、B、D 选项错误;b、c 两点的电势差 $U_{bc}=-Blv_{中}=-\frac{1}{2}Bl^2\omega$,选项 C 正确。

思路点拨 ①穿过金属框的磁通量始终为零,没有感应电流产生。②可以由右手定则判断电势高低。③感应电动势 $E=Blv$。

6.(2018 课标Ⅱ,18,6 分)如图,在同一水平面内有两根平行长导轨,导轨间存在依次相邻的矩形匀强磁场区域,区域宽度均为 l,磁感应强度大小相等、方向交替向上向下。一边长为 $\frac{3}{2}l$ 的正方形金属线框在导轨上向左匀速运动。线框中感应电流 i 随时间 t 变化的正确图线可能是 ( )





A B C D

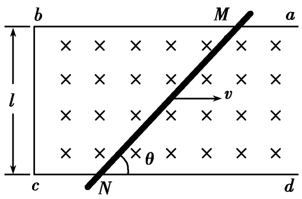
答案 D 本题考查右手定则、$E=Blv$。由右手定则判定,线框向左移动 $0\sim\frac{l}{2}$ 过程,回路中电流方向为顺时针,由 $E=2Blv$ 可知,电流 i 为定值;线框向左移动 $\frac{l}{2}\sim l$ 过程,线框左、右两边产生的感应电动势相抵消,回路中电流为零。线框向左移动 $l\sim\frac{3}{2}l$ 过程,回路中感应电流方向为逆时针。由上述分析可见,选项 D 正确。

方法技巧 电磁感应中图像问题分析技巧

由方向的合理性可直接排除错误选项,如果需要,再定量分析电流大小的变化情况确定正确选项。

7.(2015 安徽理综,19,6 分)如图所示,$abcd$ 为水平放置的平行"匚"形光滑金属导轨,间距为 l,导轨间有垂直于导轨平面的

匀强磁场,磁感应强度大小为 B,导轨电阻不计。已知金属杆 MN 倾斜放置,与导轨成 θ 角,单位长度的电阻为 r,保持金属杆以速度 v 沿平行于 cd 的方向滑动(金属杆滑动过程中与导轨接触良好)。则　(　　)



A.电路中感应电动势的大小为 $\dfrac{Blv}{\sin\theta}$

B.电路中感应电流的大小为 $\dfrac{Bv\sin\theta}{r}$

C.金属杆所受安培力的大小为 $\dfrac{B^2lv\sin\theta}{r}$

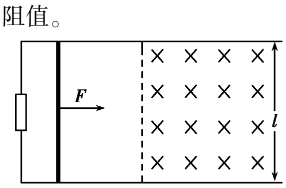
D.金属杆的热功率为 $\dfrac{B^2lv^2}{r\sin\theta}$

答案　B　金属杆 MN 切割磁感线的有效长度为 l,产生的感应电动势 $E=Blv$,A 错误;金属杆 MN 的有效电阻 $R=\dfrac{rl}{\sin\theta}$,故回路中的感应电流 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{Blv\sin\theta}{rl}=\dfrac{Bv\sin\theta}{r}$,B 正确;金属杆受到的安培力 $F=\dfrac{BIl}{\sin\theta}=\dfrac{Bl}{\sin\theta}\cdot\dfrac{Bv\sin\theta}{r}=\dfrac{B^2lv}{r}$,C 错误;金属杆的热功率 $P=I^2R=\dfrac{B^2v^2\sin^2\theta}{r^2}\cdot\dfrac{rl}{\sin\theta}=\dfrac{B^2v^2\sin\theta\cdot l}{r}$,D 错误。

8.(2016 课标Ⅱ,24,12 分)如图,水平面(纸面)内间距为 l 的平行金属导轨间接一电阻,质量为 m、长度为 l 的金属杆置于导轨上。$t=0$ 时,金属杆在水平向右、大小为 F 的恒定拉力作用下由静止开始运动。t_0 时刻,金属杆进入磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向里的匀强磁场区域,且在磁场中恰好能保持匀速运动。杆与导轨的电阻均忽略不计,两者始终保持垂直且接触良好,两者之间的动摩擦因数为 μ。重力加速度大小为 g。求

(1)金属杆在磁场中运动时产生的电动势的大小;

(2)电阻的阻值。



答案　(1)$Blt_0\left(\dfrac{F}{m}-\mu g\right)$　(2)$\dfrac{B^2l^2t_0}{m}$

解析　(1)设金属杆进入磁场前的加速度大小为 a,由牛顿第二定律得

$ma=F-\mu mg$　①

设金属杆到达磁场左边界时的速度为 v,由运动学公式有

$v=at_0$　②

当金属杆以速度 v 在磁场中运动时,由法拉第电磁感应定律,杆中的电动势为

$E=Blv$　③

联立①②③式可得

$E=Blt_0\left(\dfrac{F}{m}-\mu g\right)$　④

(2)设金属杆在磁场区域中匀速运动时,金属杆中的电流为 I,根据欧姆定律

$I=\dfrac{E}{R}$　⑤

式中 R 为电阻的阻值。金属杆所受的安培力为

$f=BlI$　⑥

因金属杆做匀速运动,由牛顿运动定律得

$F-\mu mg-f=0$　⑦

联立④⑤⑥⑦式得

$R=\dfrac{B^2l^2t_0}{m}$　⑧

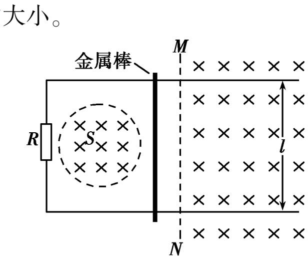
解题指导　金属杆的运动分为两个过程,进入磁场前,水平方向受拉力 F 与摩擦力的作用做匀加速运动,可求出加速度 a 和到达磁场左边界时的速度,进入磁场后,杆做匀速直线运动,根据法拉第电磁感应定律,求出电动势及电路中的电流,分析受力情况,由牛顿运动定律列方程求解即可。

解题思路　分别分析金属杆在两个过程中的受力情况和运动情况,第一个过程的末速度即为第二个过程匀速运动的速度,结合法拉第电磁感应定律得到 E,再根据第二个过程的匀速运动列方程求出 R。

9.(2016 课标Ⅲ,25,20 分)如图,两条相距 l 的光滑平行金属导轨位于同一水平面(纸面)内,其左端接一阻值为 R 的电阻;一与导轨垂直的金属棒置于两导轨上;在电阻、导轨和金属棒中间有一面积为 S 的区域,区域中存在垂直于纸面向里的均匀磁场,磁感应强度大小 B_1 随时间 t 的变化关系为 $B_1=kt$,式中 k 为常量;在金属棒右侧还有一匀强磁场区域,区域左边界 MN(虚线)与导轨垂直,磁场的磁感应强度大小为 B_0,方向也垂直于纸面向里。某时刻,金属棒在一外加水平恒力的作用下从静止开始向右运动,在 t_0 时刻恰好以速度 v_0 越过 MN,此后向右做匀速运动。金属棒与导轨始终相互垂直并接触良好,它们的电阻均忽略不计。求

(1)在 $t=0$ 到 $t=t_0$ 时间间隔内,流过电阻的电荷量的绝对值;

(2)在时刻 $t(t>t_0)$ 穿过回路的总磁通量和金属棒所受外加水平恒力的大小。



答案　(1)$\dfrac{kt_0S}{R}$　(2)$B_0lv_0(t-t_0)+kSt$　$(B_0lv_0+kS)\dfrac{B_0l}{R}$

解析　(1)在金属棒越过 MN 之前,t 时刻穿过回路的磁通量为 $\Phi=ktS$　①

设在从 t 时刻到 $t+\Delta t$ 的时间间隔内,回路磁通量的变化量为 $\Delta\Phi$,流过电阻 R 的电荷量为 Δq。由法拉第电磁感应定律有 $\varepsilon=-\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　②

由欧姆定律有 $i=\dfrac{\varepsilon}{R}$　③

由电流的定义有 $i=\dfrac{\Delta q}{\Delta t}$　④

联立①②③④式得 $|\Delta q|=\dfrac{kS}{R}\Delta t$　⑤

由⑤式得,在 $t=0$ 到 $t=t_0$ 的时间间隔内,流过电阻 R 的电荷量 q 的绝对值为

$$|q|=\frac{kt_0S}{R}$$ ⑥

(2)当 $t>t_0$ 时，金属棒已越过 MN。由于金属棒在 MN 右侧做匀速运动，有 $f=F$ ⑦

式中，f 是外加水平恒力，F 是匀强磁场施加的安培力。设此时回路中的电流为 I，F 的大小为

$F=B_0lI$ ⑧

此时金属棒与 MN 之间的距离为 $s=v_0(t-t_0)$ ⑨

匀强磁场穿过回路的磁通量为 $\Phi'=B_0ls$ ⑩

回路的总磁通量为 $\Phi_t=\Phi+\Phi'$ ⑪

式中，Φ 仍如①式所示。由①⑨⑩⑪式得，在时刻 $t(t>t_0)$ 穿过回路的总磁通量为

$\Phi_t=B_0lv_0(t-t_0)+kSt$ ⑫

在 t 到 $t+\Delta t$ 的时间间隔内，总磁通量的改变 $\Delta\Phi_t$ 为

$\Delta\Phi_t=(B_0lv_0+kS)\Delta t$ ⑬

由法拉第电磁感应定律得，回路感应电动势的大小为

$$\varepsilon_t=\left|\frac{\Delta\Phi_t}{\Delta t}\right|$$ ⑭

由欧姆定律有 $I=\dfrac{\varepsilon_t}{R}$ ⑮

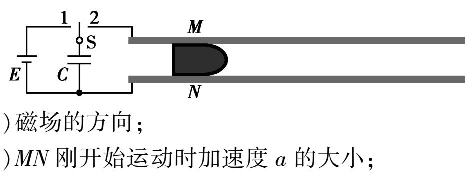
联立⑦⑧⑬⑭⑮式得 $f=(B_0lv_0+kS)\dfrac{B_0l}{R}$ ⑯

解题指导 (1)金属棒在 $0\sim t_0$ 时间内，由于圆形磁场中的磁通量变化而引起感应电动势，从而形成感应电流，由电流的定义式可以求出流过电阻的电荷量的绝对值。

(2)当金属棒越过 MN 后，穿过回路的磁通量由两部分组成；再由法拉第电磁感应定律等知识可以求出外加水平恒力的大小。

易错点拨 (1)在计算磁通量时，用的是左侧矩形面积，而不是圆形磁场面积，从而导致出错。(2)当金属棒越过 MN 后计算磁通量时，得出的金属棒与 MN 的距离 $s=v_0t$，从而导致出错。

10.(2017天津理综,12,20分)电磁轨道炮利用电流和磁场的作用使炮弹获得超高速度，其原理可用来研制新武器和航天运载器。电磁轨道炮示意如图，图中直流电源电动势为 E，电容器的电容为 C。两根固定于水平面内的光滑平行金属导轨间距为 l，电阻不计。炮弹可视为一质量为 m、电阻为 R 的金属棒 MN，垂直放在两导轨间处于静止状态，并与导轨良好接触。首先开关S接1，使电容器完全充电。然后将S接至2，导轨间存在垂直于导轨平面、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场(图中未画出)，MN 开始向右加速运动。当 MN 上的感应电动势与电容器两极板间的电压相等时，回路中电流为零，MN 达到最大速度，之后离开导轨。问：



(1)磁场的方向；

(2)MN 刚开始运动时加速度 a 的大小；

(3)MN 离开导轨后电容器上剩余的电荷量 Q 是多少。

答案 (1)见解析 (2)$\dfrac{BlE}{mR}$ (3)$\dfrac{B^2l^2C^2E}{m+B^2l^2C}$

解析 本题考查安培力及其应用、电容器、动量定理、电磁感应定律等多个考点的综合应用。

(1)垂直于导轨平面向下。

(2)电容器完全充电后，两极板间电压为 E，当开关S接2时，电容器放电，设刚放电时流经 MN 的电流为 I，有

$$I=\frac{E}{R}$$ ①

设 MN 受到的安培力为 F，有

$F=IlB$ ②

由牛顿第二定律，有

$F=ma$ ③

联立①②③式得

$$a=\frac{BlE}{mR}$$ ④

(3)当电容器充电完毕时，设电容器上电荷量为 Q_0，有

$Q_0=CE$ ⑤

开关S接2后，MN 开始向右加速运动，速度达到最大值 v_{max} 时，设 MN 上的感应电动势为 E'，有

$E'=Blv_{max}$ ⑥

依题意有

$$E'=\frac{Q}{C}$$ ⑦

设在此过程中 MN 的平均电流为 $\bar{I}$，MN 上受到的平均安培力为 $\bar{F}$，有

$\bar{F}=\bar{I}lB$ ⑧

由动量定理，有

$\bar{F}\Delta t=mv_{max}-0$ ⑨

又 $\bar{I}\Delta t=Q_0-Q$ ⑩

联立⑤⑥⑦⑧⑨⑩式得

$$Q=\frac{B^2l^2C^2E}{m+B^2l^2C}$$ ⑪

解题关键 动量定理在电磁感应中的应用

本题中，电容器的放电引起电容器两极板间电压减小，同时 MN 棒加速产生的反电动势增大，故回路中电流逐渐减小，故 MN 棒所受安培力也逐渐减小，所以对 MN 棒运动过程应用动量定理时，安培力的冲量应用平均安培力乘时间来计算，则 $\bar{F}\Delta t=\bar{I}lB\Delta t=BlQ'=mv_{max}$，$Q'$ 为流过 MN 棒的总电荷量，即电容器放出的总电荷量。

11.(2018天津理综,12,20分)真空管道超高速列车的动力系统是一种将电能直接转换成平动动能的装置。图1是某种动力系统的简化模型，图中粗实线表示固定在水平面上间距为 l 的两条平行光滑金属导轨，电阻忽略不计。ab 和 cd 是两根与导轨垂直、长度均为 l、电阻均为 R 的金属棒，通过绝缘材料固定在列车底部，并与导轨良好接触，其间距也为 l，列车的总质量为 m。列车启动前，ab、cd 处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于导轨平面向下，如图1所示。为使列车启动，需在 M、N 间连接电动势为 E 的直流电源，电源内阻及导线电阻忽略不计。列车启动后电源自动关闭。

(1)要使列车向右运行，启动时图1中 M、N 哪个接电源正极，并简要说明理由；

(2)求刚接通电源时列车加速度 a 的大小；

(3)列车减速时，需在前方设置如图2所示的一系列磁感应强度为 B 的匀强磁场区域，磁场宽度和相邻磁场间距均大于 l。若某时刻列车的速度为 v_0，此时 ab、cd 均在无磁场区域，试讨论：要使列车停下来，前方至少需要多少块这样的有界磁场？



图1

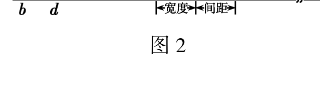


图2

答案　(1)见解析　(2)$\frac{2BEl}{mR}$　(3)见解析

解析　本题考查左手定则、安培力、法拉第电磁感应定律、动量定理等。

(1)列车要向右运动,安培力方向应向右。根据左手定则,接通电源后,金属棒中电流方向由 a 到 b、由 c 到 d,故 M 接电源正极。

(2)由题意,启动时 ab、cd 并联,设回路总电阻为 $R_{总}$,由电阻的串并联知识得

$R_{总}=\frac{R}{2}$　①

设回路总电流为 I,根据闭合电路欧姆定律有

$I=\frac{E}{R_{总}}$　②

设两根金属棒所受安培力之和为 F,有

$F=IlB$　③

根据牛顿第二定律有

$F=ma$　④

联立①②③④式得

$a=\frac{2BEl}{mR}$　⑤

(3)设列车减速时,cd 进入磁场后经 Δt 时间 ab 恰好进入磁场,此过程中穿过两金属棒与导轨所围回路的磁通量的变化为 $\Delta\Phi$,平均感应电动势为 E_1,由法拉第电磁感应定律有

$E_1=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　⑥

其中

$\Delta\Phi=Bl^2$　⑦

设回路中平均电流为 I',由闭合电路欧姆定律有

$I'=\frac{E_1}{2R}$　⑧

设 cd 受到的平均安培力为 F',有

$F'=I'lB$　⑨

以向右为正方向,设 Δt 时间内 cd 受安培力冲量为 $I_{冲}$,有

$I_{冲}=-F'\Delta t$　⑩

同理可知,回路出磁场时 ab 受安培力冲量仍为上述值,设回路进出一块有界磁场区域安培力冲量为 I_0,有

$I_0=2I_{冲}$　⑪

设列车停下来受到的总冲量为 $I_{总}$,由动量定理有

$I_{总}=0-mv_0$　⑫

联立⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫式得

$\frac{I_{总}}{I_0}=\frac{mv_0R}{B^2l^3}$　⑬

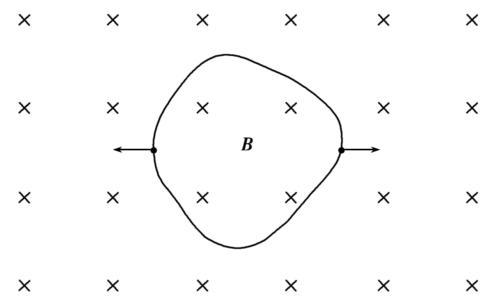
讨论:若$\frac{I_{总}}{I_0}$恰为整数,设其为 n,则需设置 n 块有界磁场;若$\frac{I_{总}}{I_0}$不是整数,设$\frac{I_{总}}{I_0}$的整数部分为 N,则需设置 $N+1$ 块有界磁场。　⑭

12.(2019 江苏单科,14,15 分)如图所示,匀强磁场中有一个用软导线制成的单匝闭合线圈,线圈平面与磁场垂直。已知线圈的面积 $S=0.3\ \mathrm{m}^2$、电阻 $R=0.6\ \Omega$,磁场的磁感应强度 $B=0.2$ T。现同时向两侧拉动线圈,线圈的两边在 $\Delta t=0.5$ s 时间内合到一起。求线圈在上述过程中

(1)感应电动势的平均值 E;

(2)感应电流的平均值 I,并在图中标出电流方向;

(3)通过导线横截面的电荷量 q。



答案　(1)0.12 V　(2)0.2 A　见解析图　(3)0.1 C

解析　本题考查了法拉第电磁感应定律中回路面积变化的情况,考查了学生的理解能力及简单的分析与综合能力,体现了科学思维中的科学推理素养要素。

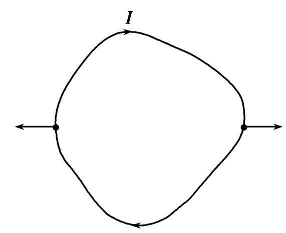
(1)感应电动势的平均值 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

磁通量的变化 $\Delta\Phi=B\Delta S$

解得 $E=\frac{B\Delta S}{\Delta t}$,代入数据得 $E=0.12$ V

(2)平均电流 $I=\frac{E}{R}$

代入数据得 $I=0.2$ A(电流方向见图)



(3)电荷量 $q=I\Delta t$

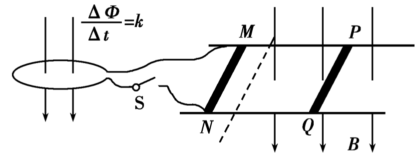
代入数据得 $q=0.1$ C

解题指导　本题中导线切割磁感线的有效长度在变化,故不能利用 $E=Blv$ 计算感应电动势,而需要利用磁通量的变化率来计算。

13.(2019 天津理综,11,18 分)如图所示,固定在水平面上间距为 l 的两条平行光滑金属导轨,垂直于导轨放置的两根金属棒 MN 和 PQ 长度也为 l、电阻均为 R,两棒与导轨始终接触良好。MN 两端通过开关 S 与电阻为 R 的单匝金属线圈相连,线圈内存在竖直向下均匀增加的磁场,磁通量变化率为常量 k。图中虚线右侧有垂直于导轨平面向下的匀强磁场,磁感应强度大小为 B。PQ 的质量为 m,金属导轨足够长、电阻忽略不计。

(1)闭合 S,若使 PQ 保持静止,需在其上加多大的水平恒力 F,并指出其方向;

(2)断开 S,PQ 在上述恒力作用下,由静止开始到速度大小为 v 的加速过程中流过 PQ 的电荷量为 q,求该过程安培力做的功 W。



答案　(1)$\frac{Bkl}{3R}$　方向水平向右

(2)$\frac{1}{2}mv^2-\frac{2}{3}kq$

解析　本题考查电磁感应中的电路问题及能量问题,难度较大,正确解答本题需要很强的综合分析能力,体现了学生的科学推理与科学论证的素养要素。

(1)设线圈中的感应电动势为E,由法拉第电磁感应定律$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,则

$E=k$　①

设PQ与MN并联的电阻为$R_{并}$,有

$R_{并}=\frac{R}{2}$　②

闭合S时,设线圈中的电流为I,根据闭合电路欧姆定律得

$I=\frac{E}{R_{并}+R}$　③

设PQ中的电流为I_{PQ},有

$I_{PQ}=\frac{1}{2}I$　④

设PQ受到的安培力为$F_{安}$,有

$F_{安}=BI_{PQ}l$　⑤

保持PQ静止,由受力平衡,有

$F=F_{安}$　⑥

联立①②③④⑤⑥式得

$F=\frac{Bkl}{3R}$　⑦

方向水平向右。

(2)设PQ由静止开始到速度大小为v的加速过程中,PQ运动的位移为x,所用时间为Δt,回路中的磁通量变化为$\Delta\Phi$,平均感应电动势为$\overline{E}$,有

$\overline{E}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　⑧

其中

$\Delta\Phi=Blx$　⑨

设PQ中的平均电流为$\overline{I}$,有

$\overline{I}=\frac{\overline{E}}{2R}$　⑩

根据电流的定义得

$\overline{I}=\frac{q}{\Delta t}$　⑪

由动能定理,有

$Fx+W=\frac{1}{2}mv^2-0$　⑫

联立⑦⑧⑨⑩⑪⑫式得

$W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{2}{3}kq$　⑬

知识拓展　电磁感应与电路问题中经常用到的一个导出公式:$q=\frac{n\Delta\Phi}{R}$。如果闭合回路是一个单匝线圈($n=1$),则$q=\frac{\Delta\Phi}{R}$。$q=n\frac{\Delta\Phi}{R}$中n为线圈匝数,$\Delta\Phi$为线圈中磁通量的变化量,R为闭合回路的总电阻。

C组　教师专用题组

1.(2014课标Ⅰ,14,6分)在法拉第时代,下列验证"由磁产生电"设想的实验中,能观察到感应电流的是　(　　)

A.将绕在磁铁上的线圈与电流表组成一闭合回路,然后观察电流表的变化

B.在一通电线圈旁放置一连有电流表的闭合线圈,然后观察电流表的变化

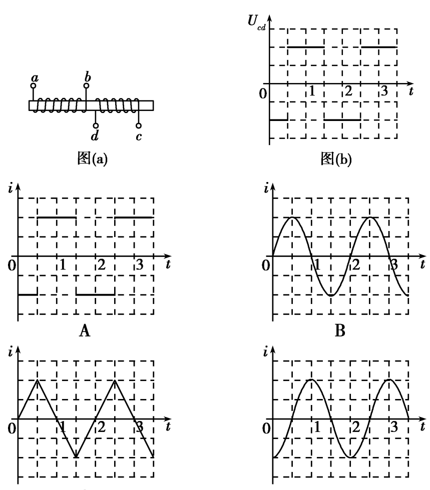
C.将一房间内的线圈两端与相邻房间的电流表连接,往线圈中插入条形磁铁后,再到相邻房间去观察电流表的变化

D.绕在同一铁环上的两个线圈,分别接电源和电流表,在给线圈通电或断电的瞬间,观察电流表的变化

答案　D　将绕在磁铁上的线圈与电流表组成一闭合回路,因线圈中的磁通量没有变化,故不能观察到感应电流,选项A不符合题意;在一通电线圈旁放置一连有电流表的闭合线圈时,如果通电线圈通以恒定电流,产生不变的磁场,则在另一线圈中不会产生感应电流,选项B不符合题意;在线圈中插入条形磁铁后,再到相邻房间去观察电流表时,磁通量已不再变化,因此也不能观察到感应电流,选项C不符合题意;绕在同一铁环上的两个线圈,在给一个线圈通电或断电的瞬间,线圈产生的磁场变化,使穿过另一线圈的磁通量变化,因此,能观察到感应电流,选项D符合题意。

解题关键　只要穿过闭合导体回路的磁通量发生变化,闭合导体回路中就有感应电流。

2.(2014课标Ⅰ,18,6分)如图(a),线圈ab、cd绕在同一软铁芯上。在ab线圈中通以变化的电流。用示波器测得线圈cd间电压如图(b)所示。已知线圈内部的磁场与流经线圈的电流成正比,则下列描述线圈ab中电流随时间变化关系的图中,可能正确的是　(　　)



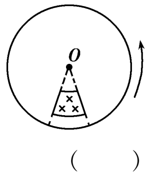
图(a)　图(b)　A　B　C　D

答案　C　A选项中只有电流方向改变的瞬间,线圈cd间才会产生电压,其他时间cd间电压为零,不符合题意,故A选项错误。通电线圈中产生的磁场$B=ki$(k为比例系数);在另一线圈中的磁通量$\Phi=BS=kiS$,由法拉第电磁感应定律可知,在另一线圈中产生的感应电动势$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,由图(b)可知,$|U_{cd}|$不变,则$\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$不变,故$\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$不变,故选项B、D错误,C正确。

审题点拨　①线圈ab和cd绕在同一软铁芯上,两线圈中磁通量的变化情况一致。②ab线圈因电生磁,cd线圈因磁生电。③结合法拉第电磁感应定律分析判断。

评析　本题以变压器为载体,用图像语言描述原、副线圈中电压、电流、磁场随时间的变化关系。要求学生明确图像六要素即点、线、面、轴、斜率、截距的实际物理意义。图像语言作为描述物理情景的三种语言之一,是永恒的考查热点。

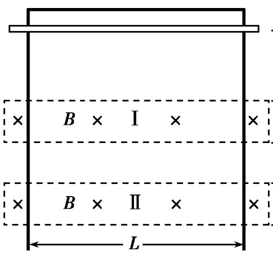
3.（2015 山东理综，17，6 分）（多选）如图，一均匀金属圆盘绕通过其圆心且与盘面垂直的轴逆时针匀速转动。现施加一垂直穿过圆盘的有界匀强磁场，圆盘开始减速。在圆盘减速过程中，以下说法正确的是　（　　）



A.处于磁场中的圆盘部分，靠近圆心处电势高
B.所加磁场越强越易使圆盘停止转动
C.若所加磁场反向，圆盘将加速转动
D.若所加磁场穿过整个圆盘，圆盘将匀速转动

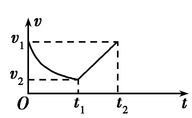
答案　ABD　根据右手定则，处于磁场中的圆盘部分，感应电流从靠近圆盘边缘处流向靠近圆心处，故靠近圆心处电势高，A 正确；安培力 $F=\frac{B^2l^2v_{中}}{R}$，磁场越强，安培力越大，B 正确；磁场反向时，安培力仍是阻力，C 错误；若所加磁场穿过整个圆盘，则磁通量不再变化，没有感应电流，安培力为零，故圆盘不受阻力作用，将匀速转动，D 正确。

4.（2018 江苏单科，9，4 分）（多选）如图所示，竖直放置的"⊓"形光滑导轨宽为 L，矩形匀强磁场Ⅰ、Ⅱ的高和间距均为 d，磁感应强度为 B。质量为 m 的水平金属杆由静止释放，进入磁场Ⅰ和Ⅱ时的速度相等。金属杆在导轨间的电阻为 R，与导轨接触良好，其余电阻不计，重力加速度为 g。金属杆　（　　）



A.刚进入磁场Ⅰ时加速度方向竖直向下
B.穿过磁场Ⅰ的时间大于在两磁场之间的运动时间
C.穿过两磁场产生的总热量为 $4mgd$
D.释放时距磁场Ⅰ上边界的高度 h 可能小于$\frac{m^2gR^2}{2B^4L^4}$

答案　BC　本题考查电磁感应与动力学、能量问题的综合应用。要使杆进入磁场Ⅰ和Ⅱ时的速度相等，杆刚进入磁场Ⅰ时必须减速运动，加速度方向竖直向上，故 A 错误。杆在Ⅰ区做加速度减小的减速运动，在两磁场之间做 $a=g$ 的匀加速运动，运动过程如图所示（其中 v_1 为杆刚进入Ⅰ时的速度，v_2 为杆刚出Ⅰ时的速度），图线与时间轴所围的面积表示位移，两段运动的位移相等，则 $t_1>t_2-t_1$，故 B 正确。对杆从进入磁场Ⅰ至刚穿出磁场Ⅱ的过程应用动能定理得 $mg\cdot3d+W_{安}=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，对杆穿过两磁场之间的过程应用动能定理得 $mgd=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2$，解得 $W_{安}=-4mgd$，由功能关系得 $Q=-W_{安}=4mgd$，故 C 正确。若杆刚进入磁场Ⅰ时恰好匀速，则有 $\frac{B^2L^2v_1}{R}=mg$，$v_1=\frac{mgR}{B^2L^2}$，代入 $h=\frac{v_1^2}{2g}$ 得 $h=\frac{m^2gR^2}{2B^4L^4}$，因为杆刚进入Ⅰ时必须做减速运动，故一定有 $h>\frac{m^2gR^2}{2B^4L^4}$，故 D 错误。



疑难突破　（1）利用 $v-t$ 图像分析运动过程和运动时间，可以化难为易。

（2）对于 D 选项，以杆刚进入Ⅰ时恰好匀速运动作为参照，问题便迎刃而解。

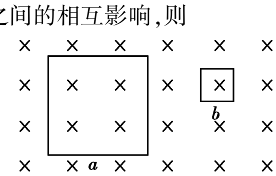
5.（2013 课标Ⅱ，19，6 分）（多选）在物理学发展过程中，观测、实验、假说和逻辑推理等方法都起到了重要作用。下列叙述符合史实的是　（　　）

A.奥斯特在实验中观察到电流的磁效应，该效应揭示了电和磁之间存在联系
B.安培根据通电螺线管的磁场和条形磁铁的磁场的相似性，提出了分子电流假说
C.法拉第在实验中观察到，在通有恒定电流的静止导线附近的固定导线圈中，会出现感应电流
D.楞次在分析了许多实验事实后提出，感应电流应具有这样的方向，即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化

答案　ABD　通有恒定电流的静止导线附近产生的磁场是不变的，在其附近的固定导线圈中没有磁通量的变化，因此，不会出现感应电流，选项 C 错误。

评析　对于中学物理中的经典实验及有历史性贡献的科学家均应有正确的认知。

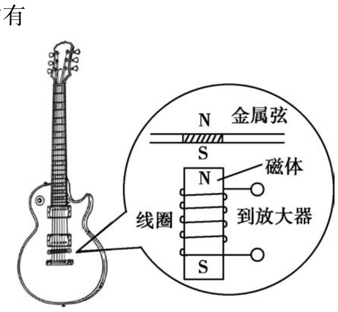
6.（2016 浙江理综，16，6 分）如图所示，a、b 两个闭合正方形线圈用同样的导线制成，匝数均为 10 匝，边长 $l_a=3l_b$，图示区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，且磁感应强度随时间均匀增大，不考虑线圈之间的相互影响，则　（　　）



A.两线圈内产生顺时针方向的感应电流
B.a、b 线圈中感应电动势之比为 9∶1
C.a、b 线圈中感应电流之比为 3∶4
D.a、b 线圈中电功率之比为 3∶1

答案　B　磁场均匀增大，穿过两线圈的磁通量增大，根据楞次定律可知两线圈内会产生逆时针方向的感应电流，选项 A 错误；由法拉第电磁感应定律 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{\Delta B}{\Delta t}l^2$，得 $\frac{E_a}{E_b}=\frac{l_a^2}{l_b^2}=\frac{9}{1}$，选项 B 正确；由电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$，得 $\frac{R_a}{R_b}=\frac{l_a}{l_b}=\frac{3}{1}$，由闭合电路欧姆定律可得 $I=\frac{E}{R}$，即 $\frac{I_a}{I_b}=\frac{E_a}{E_b}\times\frac{R_b}{R_a}=\frac{3}{1}$，选项 C 错误；由 $P=\frac{E^2}{R}$ 得 $\frac{P_a}{P_b}=\frac{E_a^2}{E_b^2}\times\frac{R_b}{R_a}=\frac{27}{1}$，选项 D 错误。

7.（2016 江苏单科，6，4 分）（多选）电吉他中电拾音器的基本结构如图所示，磁体附近的金属弦被磁化，因此弦振动时，在线圈中产生感应电流，电流经电路放大后传送到音箱发出声音。下列说法正确的有　（　　）



A.选用铜质弦，电吉他仍能正常工作

B.取走磁体,电吉他将不能正常工作

C.增加线圈匝数可以增大线圈中的感应电动势

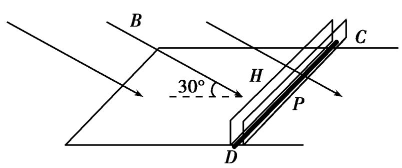
D.弦振动过程中,线圈中的电流方向不断变化

答案 **BCD** 铜质弦无法被磁化,不能产生磁场引起线圈中磁通量的变化从而产生感应电流,所以铜质弦不能使电吉他正常工作,故A项错误;取走磁体,金属弦无法被磁化,线圈中不会产生感应电流,B项正确;由 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 知,C项正确;金属弦来回振动,线圈中磁通量不断增加或减小,电流方向不断变化,D项正确。

易错点拨 有些学生受生活中吉他铜质弦的影响,误选A项,这就提醒我们解题一定要结合所学的物理知识,深入思考推理,不要凭想象。

失分警示 铜质材料不能被磁化,铜质弦振动时不会在线圈中产生感应电动势。

8.(2014四川理综,6,6分)(多选)如图所示,不计电阻的光滑U形金属框水平放置,光滑、竖直玻璃挡板 H、P 固定在框上,H、P 的间距很小。质量为0.2 kg的细金属杆 CD 恰好无挤压地放在两挡板之间,与金属框接触良好并围成边长为1 m的正方形,其有效电阻为0.1 Ω。此时在整个空间加方向与水平面成30°角且与金属杆垂直的匀强磁场,磁感应强度随时间变化规律是 $B=(0.4-0.2t)$ T,图示磁场方向为正方向。框、挡板和杆不计形变。则 ( )



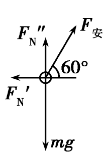
A.$t=1$ s时,金属杆中感应电流方向从 C 到 D

B.$t=3$ s时,金属杆中感应电流方向从 D 到 C

C.$t=1$ s时,金属杆对挡板 P 的压力大小为0.1 N

D.$t=3$ s时,金属杆对挡板 H 的压力大小为0.2 N

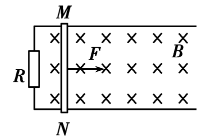
答案 **AC** 据已知 $B=(0.4-0.2t)$ T可知 $t=1$ s时,正方向的磁场在减弱,由楞次定律可判定电流方向为由 C 到 D,A项正确。同理可判定B项错误。

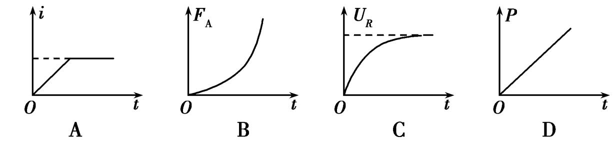


$t=1$ s时感应电动势 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{|\Delta B|}{\Delta t}\cdot S\cdot\sin 30°=0.1$ V,$I=E/R=1$ A,安培力 $F_安=BIL=0.2$ N,对杆受力分析如图,可知 $F_N'=F_安\cos 60°=0.1$ N,由牛顿第三定律知,C项正确。同理可得 $t=3$ s时对挡板 H 的压力大小为0.1 N,D项错误。

评析 本题以金属框和金属杆为载体,考查了安培力、楞次定律、感应电动势、受力分析、物体受力平衡、正交分解等知识的综合运用能力。同时要求考生注意数学运算能力的发挥和运用。综合性强,难度较大。要求考生认真、细致,稳妥应答。

9.(2016四川理综,7,6分)(多选)如图所示,电阻不计、间距为 l 的光滑平行金属导轨水平放置于磁感应强度为 B、方向竖直向下的匀强磁场中,导轨左端接一定值电阻 R。质量为 m、电阻为 r 的金属棒 MN 置于导轨上,受到垂直于金属棒的水平外力 F 的作用由静止开始运动,外力 F 与金属棒速度 v 的关系是 $F=F_0+kv$(F_0、k 是常量),金属棒与导轨始终垂直且接触良好。金属棒中感应电流为 i,受到的安培力大小为 F_A,电阻 R 两端的电压为 U_R,感应电流的功率为 P,它们随时间 t 变化图像可能正确的有 ( )





答案 **BC** 金属棒 MN 相当于电源,其感应电动势 $E=Blv$,感应电流 $I=\dfrac{Blv}{R+r}$ 即 $I\propto v$

$F_A=BIl=\dfrac{B^2l^2v}{R+r}$ 即:$F_A\propto v$

$U_R=IR=\dfrac{Blv}{R+r}R$ 即:$U_R\propto v$

$P=IE=\dfrac{B^2l^2v^2}{R+r}$ 即:$P\propto v^2$

对金属棒 MN:$F-F_A=ma$

$F_0+kv-\dfrac{B^2l^2}{R+r}v=ma$

$F_0+\left(k-\dfrac{B^2l^2}{R+r}\right)v=ma$

若 $k-\dfrac{B^2l^2}{R+r}>0$,随着 v 增大,a 也增大,棒做加速度增大的加速运动,B项正确。

若 $k-\dfrac{B^2l^2}{R+r}<0$,随着 v 增大,a 减小,棒做加速度减小的加速运动,当 $a=0$ 时,v 达到最大后保持不变,C项正确,A项错误。

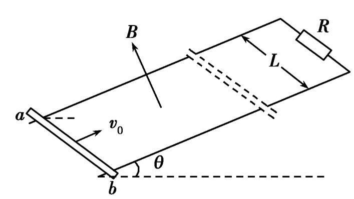
若 $k-\dfrac{B^2l^2}{R+r}=0$,则 $a=\dfrac{F_0}{m}$,金属棒做匀加速运动

则 $v=at$,$P=IE=\dfrac{B^2l^2a^2}{R+r}t^2$,D项错误。

深度解析 方法技巧:先分别得出 I、F_A、U_R、P 与 v 的关系,然后对棒 MN 受力分析,由牛顿第二定律列方程,最后分情况讨论棒 MN 的运动情况,根据各量与 v 的关系讨论得各量与时间的关系图像。

评析 本题考查了电磁感应,通电导体在磁场中的运动以及物理规律与图像的结合问题,要求考生有较强的综合能力。

10.(2017上海单科,20,16分)如图,光滑平行金属导轨间距为 L,与水平面夹角为 θ,两导轨上端用阻值为 R 的电阻相连,该装置处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场方向垂直于导轨平面。质量为 m 的金属杆 ab 以沿导轨平面向上的初速度 v_0 从导轨底端开始运动,然后又返回到出发位置。在运动过程中,ab 与导轨垂直且接触良好,不计 ab 和导轨的电阻及空气阻力。



(1)求 ab 开始运动时的加速度 a;

(2)分析并说明 ab 在整个运动过程中速度、加速度的变化情况;

(3)分析并比较 ab 上滑时间和下滑时间的长短。

答案 见解析

解析 本题考查电磁感应、闭合电路欧姆定律。动力学分

析、能量转化与守恒定律。

(1)利用楞次定律,对初始状态的 ab 受力分析得:

$mg\sin\theta+BIL=ma$　①

对回路分析

$I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{BLv_0}{R}$　②

联立①②得

$a=g\sin\theta+\dfrac{B^2L^2v_0}{m\cdot R}$

(2)上滑过程:

由第(1)问中的分析可知,上滑过程加速度大小表达式为:

$a_{上}=g\sin\theta+\dfrac{B^2L^2v}{m\cdot R}$　③

上滑过程,a、v 反向,做减速运动。利用③式,v 减小则 a 减小,可知,杆上滑时做加速度逐渐减小的减速运动。

下滑过程:

由牛顿第二定律,对 ab 受力分析得:

$mg\sin\theta-\dfrac{B^2L^2v}{R}=ma_{下}$　④

$a_{下}=g\sin\theta-\dfrac{B^2L^2v}{m\cdot R}$　⑤

因 $a_{下}$ 与 v 同向,ab 做加速运动。

由⑤得 v 增加,$a_{下}$ 减小,

杆下滑时做加速度减小的加速运动。

(3)设 P 点是上滑与下滑过程中经过的同一点 P,由能量转化与守恒可知:

$\dfrac{1}{2}mv_{P上}^2=\dfrac{1}{2}mv_{P下}^2+Q_R$　⑥

Q_R 为 ab 从 P 滑到最高点到再回到 P 点过程中 R 上产生的焦耳热。

由 $Q_R>0$ 所以 $v_{P上}>v_{P下}$

同理可推得 ab 上滑通过某一位置的速度大于下滑通过同一位置的速度,进而可推得 $\bar{v}_{上}>\bar{v}_{下}$

由 $s=\bar{v}_{上}t_{上}=\bar{v}_{下}t_{下}$ 得

$t_{上}<t_{下}$

即 ab 上滑时间比下滑时间短。

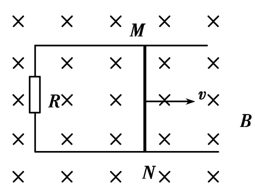
知识归纳　①当回路中只有一部分导体做切割磁感线运动时,安培力的表达式为 $F_{安}=\dfrac{B^2L^2v}{R_{总}}$,$R_{总}$ 为回路总电阻。

②运动学中,a、v 同向,物体做加速运动;

a、v 反向,物体做减速运动。

③楞次定律的力学效果是"阻碍磁通量变化"。杆上滑,受安培力沿斜面向下,杆下滑,受安培力沿斜面向上。

11.(2015 北京理综,22,16 分) 如图所示,足够长的平行光滑金属导轨水平放置,宽度 $L=0.4$ m,一端连接 $R=1\ \Omega$ 的电阻。导轨所在空间存在竖直向下的匀强磁场,磁感应强度 $B=1$ T。导体棒 MN 放在导轨上,其长度恰好等于导轨间距,与导轨接触良好。导轨和导体棒的电阻均可忽略不计。在平行于导轨的拉力 F 作用下,导体棒沿导轨向右匀速运动,速度 $v=5$ m/s。求:



(1)感应电动势 E 和感应电流 I;

(2)在 0.1 s 时间内,拉力的冲量 I_F 的大小;

(3)若将 MN 换为电阻 $r=1\ \Omega$ 的导体棒,其他条件不变,求导体棒两端的电压 U。

答案　(1)2 V　2 A

(2)0.08 N·s

(3)1 V

解析　(1)由法拉第电磁感应定律可得,感应电动势

$E=BLv=1\times0.4\times5\ \text{V}=2\ \text{V}$

感应电流 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{2}{1}\ \text{A}=2\ \text{A}$

(2)拉力大小等于安培力大小 $F=BIL=1\times2\times0.4\ \text{N}=0.8\ \text{N}$

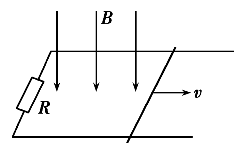
冲量大小 $I_F=F\Delta t=0.8\times0.1\ \text{N·s}=0.08\ \text{N·s}$

(3)由闭合电路欧姆定律可得,电路中电流

$I'=\dfrac{E}{R+r}=\dfrac{2}{2}\ \text{A}=1\ \text{A}$

由欧姆定律可得,导体棒两端电压 $U=I'R=1\ \text{V}$

12.(2015 海南单科,13,10 分) 如图,两平行金属导轨位于同一水平面上,相距 l,左端与一电阻 R 相连;整个系统置于匀强磁场中,磁感应强度大小为 B,方向竖直向下。一质量为 m 的导体棒置于导轨上,在水平外力作用下沿导轨以速率 v 匀速向右滑动,滑动过程中始终保持与导轨垂直并接触良好。已知导体棒与导轨间的动摩擦因数为 μ,重力加速度大小为 g,导轨和导体棒的电阻均可忽略。求



(1)电阻 R 消耗的功率;

(2)水平外力的大小。

答案　(1)$\dfrac{B^2l^2v^2}{R}$　(2)$\dfrac{B^2l^2v}{R}+\mu mg$

解析　**解法一**　导体棒匀速向右滑动,速率为 v,则有

$F=F_{安}+\mu mg$

$E=Blv$

$I=\dfrac{E}{R}$

$F_{安}=BIl$

解得 $F=\dfrac{B^2l^2v}{R}+\mu mg$

由能量守恒定律得

$Fv=\mu mgv+P_R$

解得 $P_R=\dfrac{B^2l^2v^2}{R}$

解法二　(1)导体棒切割磁感线产生的电动势

$E=Blv$

由于导轨与导体棒的电阻均可忽略,则 R 两端电压等于电动势:

$U=E$

则电阻 R 消耗的功率

$P_R=\dfrac{U^2}{R}$

综合以上三式可得

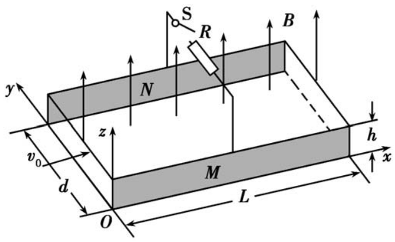
$P_R=\dfrac{B^2l^2v^2}{R}$

(2)设水平外力大小为 F,由能量守恒有

$Fv=P_R+\mu mgv$

故得 $F=\dfrac{P_R}{v}+\mu mg=\dfrac{B^2l^2v}{R}+\mu mg$

13.(2014 福建理综,22,20 分)如图,某一新型发电装置的发电管是横截面为矩形的水平管道,管道的长为 L、宽为 d、高为 h,上下两面是绝缘板,前后两侧面 M、N 是电阻可忽略的导体板,两导体板与开关 S 和定值电阻 R 相连。整个管道置于磁感应强度大小为 B,方向沿 z 轴正方向的匀强磁场中。管道内始终充满电阻率为 ρ 的导电液体(有大量的正、负离子),且开关闭合前后,液体在管道进、出口两端压强差的作用下,均以恒定速率 v_0 沿 x 轴正向流动,液体所受的摩擦阻力不变。



(1)求开关闭合前,M、N 两板间的电势差大小 U_0;

(2)求开关闭合前后,管道两端压强差的变化 Δp;

(3)调整矩形管道的宽和高,但保持其他量和矩形管道的横截面积 $S=dh$ 不变,求电阻 R 可获得的最大功率 P_m 及相应的宽高比 d/h 的值。

答案 (1)Bdv_0 (2)$\dfrac{Ldv_0B^2}{LhR+d\rho}$ (3)$\dfrac{LSv_0^2B^2}{4\rho}$ $\dfrac{LR}{\rho}$

解析 (1)设带电离子所带的电荷量为 q,当其所受的洛伦兹力与电场力平衡时,U_0 保持恒定,有

$qv_0B=q\dfrac{U_0}{d}$ ①

得 $U_0=Bdv_0$ ②

(2)设开关闭合前后,管道两端压强差分别为 p_1、p_2,液体所受的摩擦阻力均为 f,开关闭合后管道内液体受到安培力为 $F_安$,有

$p_1hd=f$ ③

$p_2hd=f+F_安$ ④

$F_安=BId$ ⑤

根据欧姆定律,有

$I=\dfrac{U_0}{R+r}$ ⑥

两导体板间液体的电阻

$r=\rho\dfrac{d}{Lh}$ ⑦

由②③④⑤⑥⑦式得

$\Delta p=\dfrac{Ldv_0B^2}{LhR+d\rho}$ ⑧

(3)电阻 R 获得的功率为

$P=I^2R$ ⑨

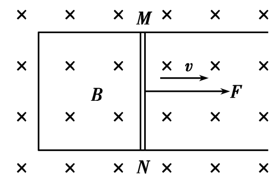
$P=\left(\dfrac{Lv_0B}{\dfrac{LR}{d}+\dfrac{\rho}{h}}\right)^2R$ ⑩

当 $\dfrac{d}{h}=\dfrac{LR}{\rho}$ 时 ⑪

电阻 R 获得的最大功率

$P_m=\dfrac{LSv_0^2B^2}{4\rho}$ ⑫

14.(2014 北京理综,24,20 分)导体切割磁感线的运动可以从宏观和微观两个角度来认识。如图所示,固定于水平面的 U 形导线框处于竖直向下的匀强磁场中,金属直导线 MN 在与其垂直的水平恒力 F 作用下,在导线框上以速度 v 做匀速运动,速度 v 与恒力 F 方向相同;导线 MN 始终与导线框形成闭合电路。已知导线 MN 电阻为 R,其长度 L 恰好等于平行轨道间距,磁场的磁感应强度为 B。忽略摩擦阻力和导线框的电阻。



(1)通过公式推导验证:在 Δt 时间内,F 对导线 MN 所做的功 W 等于电路获得的电能 $W_电$,也等于导线 MN 中产生的焦耳热 Q;

(2)若导线 MN 的质量 $m=8.0$ g、长度 $L=0.10$ m,感应电流 $I=1.0$ A,假设一个原子贡献 1 个自由电子,计算导线 MN 中电子沿导线长度方向定向移动的平均速率 v_e(下表中列出一些你可能会用到的数据);

阿伏加德罗常数 N_A	6.0×10^{23} mol^{-1}
元电荷 e	1.6×10^{-19} C
导线 MN 的摩尔质量 μ	6.0×10^{-2} kg/mol

(3)经典物理学认为,金属的电阻源于定向运动的自由电子与金属离子(即金属原子失去电子后的剩余部分)的碰撞。展开你想象的翅膀,给出一个合理的自由电子的运动模型;在此基础上,求出导线 MN 中金属离子对一个自由电子沿导线长度方向的平均作用力 $\bar{f}$ 的表达式。

答案 (1)见解析 (2)7.8×10^{-6} m/s (3)见解析

解析 (1)电动势 $E=BLv$

导线匀速运动,受力平衡 $F=F_安=BIL$

在 Δt 时间内,

外力 F 对导线做功 $W=Fv\Delta t=F_安 v\Delta t=BILv\Delta t$

电路获得的电能 $W_电=qE=IE\Delta t=BILv\Delta t$

可见,F 对导线 MN 所做的功等于电路获得的电能 $W_电$;

导线 MN 中产生的焦耳热 $Q=I^2R\Delta t=I\Delta t\times IR=qE=W_电$

可见,电路获得的电能 $W_电$ 等于导线 MN 中产生的焦耳热 Q。

(2)导线 MN 中含有的原子数为 $N=\dfrac{m}{\mu}N_A$

因为一个金属原子贡献一个电子,所以导线 MN 中的自由电子数也是 N。

导线 MN 单位体积内的自由电子数 $n=\dfrac{N}{SL}$

其中,S 为导线 MN 的横截面积。

因为电流 $I=nv_eSe$

所以 $v_e=\dfrac{I}{nSe}=\dfrac{IL}{Ne}=\dfrac{IL\mu}{mN_Ae}$

解得 $v_e=7.8\times10^{-6}$ m/s

(3)假设:所有自由电子(简称电子)以同一方式运动。

设电子在每一次碰撞结束至下一次碰撞结束之间的运动都相同,经历的时间为 Δt,电子的动量变化为零。

因为导线 MN 的运动,电子受到沿导线方向的洛伦兹力 $f_洛$ 的作用

$f_洛=evB$

沿导线方向,电子只受到金属离子的作用力和$f_{洛}$作用,所以

$f_{洛}\Delta t-I_f=0$

其中I_f为金属离子对电子的作用力的冲量,其平均作用力为$\bar{f}$,则$I_f=\bar{f}\Delta t$

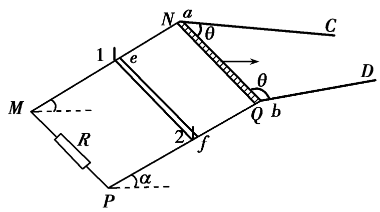
得$\bar{f}=f_{洛}=evB$

温馨提示　(1)推导出$W_{电}$与Q的表达式并比较。

(2)$I=neSv$。

(3)分析电子运动过程中的受力情况尝试用不同方法解题。

15.(2015 四川理综,11,19 分)如图所示,金属导轨 MNC 和 PQD,MN 与 PQ 平行且间距为 L,所在平面与水平面夹角为 α,N、Q 连线与 MN 垂直,M、P 间接有阻值为 R 的电阻;光滑直导轨 NC 和 QD 在同一水平面内,与 NQ 的夹角都为锐角 θ,均匀金属棒 ab 和 ef 质量均为 m,长均为 L,ab 棒初始位置在水平导轨上与 NQ 重合;ef 棒垂直放在倾斜导轨上,与导轨间的动摩擦因数为 μ(μ 较小),由导轨上的小立柱 1 和 2 阻挡而静止。空间有方向竖直的匀强磁场(图中未画出)。两金属棒与导轨保持良好接触。不计所有导轨和 ab 棒的电阻,ef 棒的阻值为 R,最大静摩擦力与滑动摩擦力大小相等,忽略感应电流产生的磁场,重力加速度为 g。



(1)若磁感应强度大小为 B,给 ab 棒一个垂直于 NQ、水平向右的速度 v_1,在水平导轨上沿运动方向滑行一段距离后停止,ef 棒始终静止,求此过程 ef 棒上产生的热量;

(2)在(1)问过程中,ab 棒滑行距离为 d,求通过 ab 棒某横截面的电荷量;

(3)若 ab 棒以垂直于 NQ 的速度 v_2 在水平导轨上向右匀速运动,并在 NQ 位置时取走小立柱 1 和 2,且运动过程中 ef 棒始终静止。求此状态下最强磁场的磁感应强度及此磁场下 ab 棒运动的最大距离。

答案　(1)$\dfrac{1}{4}mv_1^2$

(2)$\dfrac{2Bd(L-d\cot\theta)}{R}$

(3)见解析

解析　(1)设 ab 棒的初动能为 E_k,ef 棒和电阻 R 在此过程产生的热量分别为 W 和 W_1,有

$W+W_1=E_k$　①

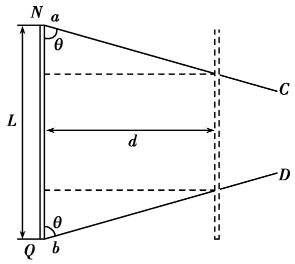
且 $W=W_1$　②

由题有 $E_k=\dfrac{1}{2}mv_1^2$　③

得 $W=\dfrac{1}{4}mv_1^2$　④

说明:①②③④式各 1 分。

(2)设在题设过程中,ab 棒滑行时间为 Δt,扫过的导轨间的面积为 ΔS,通过 ΔS 的磁通量为 $\Delta\Phi$,ab 棒产生的电动势为 E,ab 棒中的电流为 I,通过 ab 棒某横截面的电荷量为 q,则



$E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　⑤

且 $\Delta\Phi=B\Delta S$　⑥

$I=\dfrac{q}{\Delta t}$　⑦

又有 $I=\dfrac{2E}{R}$　⑧

由图所示 $\Delta S=d(L-d\cot\theta)$　⑨

联立⑤~⑨,解得 $q=\dfrac{2Bd(L-d\cot\theta)}{R}$　⑩

说明:⑤⑥⑦⑧⑨⑩式各 1 分。

(3)ab 棒滑行距离为 x 时,ab 棒在导轨间的棒长 L_x 为

$L_x=L-2x\cot\theta$　⑪

此时,ab 棒产生电动势 E_x 为 $E_x=Bv_2L_x$　⑫

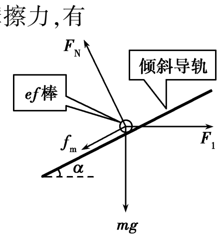
流过 ef 棒的电流 I_x 为 $I_x=\dfrac{E_x}{R}$　⑬

ef 棒所受安培力 F_x 为 $F_x=BI_xL$　⑭

联立⑪~⑭,解得 $F_x=\dfrac{B^2v_2L}{R}(L-2x\cot\theta)$　⑮

由⑮式可得,F_x 在 $x=0$ 和 B 为最大值 B_m 时有最大值 F_1。

由题知,ab 棒所受安培力方向必水平向左,ef 棒所受安培力方向必水平向右,使 F_1 为最大值的受力分析如图所示,图中 f_m 为最大静摩擦力,有

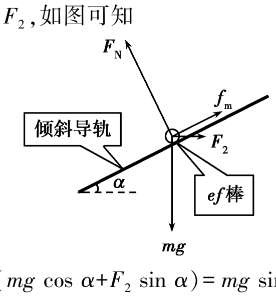


$F_1\cos\alpha=mg\sin\alpha+\mu(mg\cos\alpha+F_1\sin\alpha)$　⑯

联立⑮⑯,得 $B_m=\dfrac{1}{L}\sqrt{\dfrac{mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)R}{(\cos\alpha-\mu\sin\alpha)v_2}}$　⑰

⑰式就是题目所求最强磁场的磁感应强度大小,该磁场方向可竖直向上,也可竖直向下。

由⑮式可知,B 为 B_m 时,F_x 随 x 增大而减小,x 为最大 x_m 时,F_x 为最小值 F_2,如图可知



$F_2\cos\alpha+\mu(mg\cos\alpha+F_2\sin\alpha)=mg\sin\alpha$　⑱

联立⑮⑰⑱,得

$x_m=\dfrac{\mu L\tan\theta}{(1+\mu^2)\sin\alpha\cos\alpha+\mu}$　⑲

说明:⑫⑭⑮⑯⑱⑲式各 1 分,⑰式 2 分,正确说明磁场方向得 1 分。

16.(2017北京理综,24,20分)发电机和电动机具有装置上的类似性,源于它们机理上的类似性。直流发电机和直流电动机的工作原理可以简化为如图1、图2所示的情景。

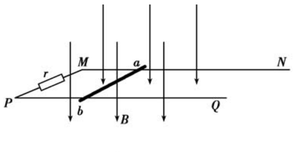


图1

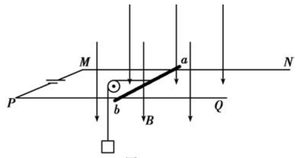


图2

在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,两根光滑平行金属轨道 MN、PQ 固定在水平面内,相距为 L,电阻不计。电阻为 R 的金属导体棒 ab 垂直于 MN、PQ 放在轨道上,与轨道接触良好,以速度 v(v 平行于 MN)向右做匀速运动。

图1轨道端点 M、P 间接有阻值为 r 的电阻,导体棒 ab 受到水平向右的外力作用。图2轨道端点 M、P 间接有直流电源,导体棒 ab 通过滑轮匀速提升重物,电路中的电流为 I。

(1)求在 Δt 时间内,图1"发电机"产生的电能和图2"电动机"输出的机械能。

(2)从微观角度看,导体棒 ab 中的自由电荷所受洛伦兹力在上述能量转化中起着重要作用。为了方便,可认为导体棒中的自由电荷为正电荷。

a.请在图3(图1的导体棒 ab)、图4(图2的导体棒 ab)中,分别画出自由电荷所受洛伦兹力的示意图。

b.我们知道,洛伦兹力对运动电荷不做功。那么,导体棒 ab 中的自由电荷所受洛伦兹力是如何在能量转化过程中起到作用的呢?请以图2"电动机"为例,通过计算分析说明。

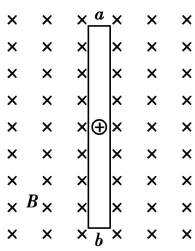


图3

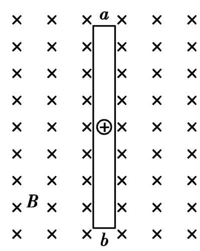


图4

答案 见解析

解析 本题考查发电机和电动机的机理分析、洛伦兹力的方向及其在能量转化中的作用。

(1)图1中,电路中的电流 $I_1=\dfrac{BLv}{R+r}$

棒 ab 受到的安培力 $F_1=BI_1L$

在 Δt 时间内,"发电机"产生的电能等于棒 ab 克服安培力做的功

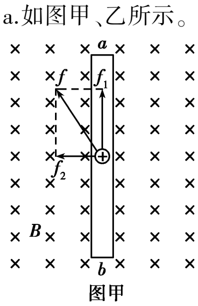
$$E_{电}=F_1\cdot v\Delta t=\frac{B^2L^2v^2\Delta t}{R+r}$$

图2中,棒 ab 受到的安培力 $F_2=BIL$

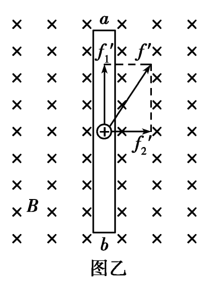
在 Δt 时间内,"电动机"输出的机械能等于安培力对棒 ab 做的功

$$E_{机}=F_2\cdot v\Delta t=BILv\Delta t$$

(2)a.如图甲、乙所示。



图甲



图乙

b.设自由电荷的电荷量为 q,沿导体棒定向移动的速率为 u。

如图乙所示,沿棒方向的洛伦兹力 $f_1'=qvB$,做负功

$W_1=-f_1'\cdot u\Delta t=-qvBu\Delta t$

垂直棒方向的洛伦兹力 $f_2'=quB$,做正功

$W_2=f_2'\cdot v\Delta t=quBv\Delta t$

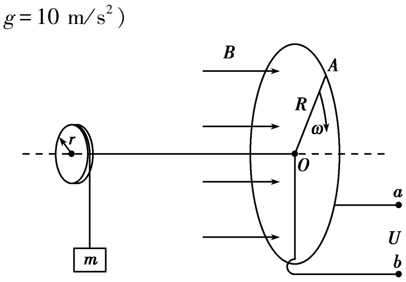
所以 $W_1=-W_2$,即导体棒中一个自由电荷所受的洛伦兹力做功为零。

f_1'做负功,阻碍自由电荷的定向移动,宏观上表现为"反电动势",消耗电源的电能;f_2'做正功,宏观上表现为安培力做正功,使机械能增加。大量自由电荷所受洛伦兹力做功的宏观表现是将电能转化为等量的机械能,在此过程中洛伦兹力通过两个分力做功起到"传递"能量的作用。

疑难突破 洛伦兹力的做功及其作用

在"发电机"模型中,外力促使导体棒做切割磁感线运动时,棒中自由电荷随棒运动,从而会受到沿棒方向的洛伦兹力,表现为"电源中的非静电力",这一力做正功,起到了使其他形式能量向电能转化的作用;在"电动机"模型中,外电源使导体棒中产生电场,在电场力作用下,导体棒中的自由电荷沿棒运动,从而受到垂直于棒方向的洛伦兹力,宏观上表现为"导体棒受到的安培力",这一力做正功,起到了使电能向其他形式能量转化的作用。

17.(2014浙江理综,24,20分)某同学设计一个发电测速装置,工作原理如图所示。一个半径为 $R=0.1$ m 的圆形金属导轨固定在竖直平面上,一根长为 R 的金属棒 OA,A 端与导轨接触良好,O 端固定在圆心处的转轴上。转轴的左端有一个半径为 $r=R/3$ 的圆盘,圆盘和金属棒能随转轴一起转动。圆盘上绕有不可伸长的细线,下端挂着一个质量为 $m=0.5$ kg 的铝块。在金属导轨区域内存在垂直于导轨平面向右的匀强磁场,磁感应强度 $B=0.5$ T。a 点与导轨相连,b 点通过电刷与 O 端相连。测量 a、b 两点间的电势差 U 可算得铝块速度。铝块由静止释放,下落 $h=0.3$ m 时,测得 $U=0.15$ V。(细线与圆盘间没有滑动,金属棒、导轨、导线及电刷的电阻均不计,重力加速度 $g=10$ m/s^2)



(1)测 U 时,与 a 点相接的是电压表的"正极"还是"负极"?

(2)求此时铝块的速度大小;

(3)求此下落过程中铝块机械能的损失。

答案 (1)正极 (2)2 m/s (3)0.5 J

解析 (1)由右手定则知,金属棒产生的感应电动势的方向由 $O\to A$,故 A 端电势高于 O 端电势,与 a 点相接的是电压表的"正极"。

(2)由电磁感应定律得

$$U=E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\Delta\Phi=\frac{1}{2}BR^2\Delta\theta$$

$$U=\frac{1}{2}B\omega R^2$$

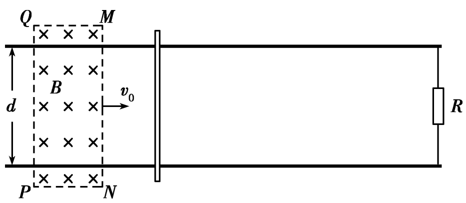
$v=r\omega=\dfrac{1}{3}\omega R$

所以 $v=\dfrac{2U}{3BR}=2\ \text{m/s}$

(3) $\Delta E=mgh-\dfrac{1}{2}mv^2$

$\Delta E=0.5\ \text{J}$

18.(2017 江苏单科,13,15 分)如图所示,两条相距 d 的平行金属导轨位于同一水平面内,其右端接一阻值为 R 的电阻。质量为 m 的金属杆静置在导轨上,其左侧的矩形匀强磁场区域 $MNPQ$ 的磁感应强度大小为 B、方向竖直向下。当该磁场区域以速度 v_0 匀速地向右扫过金属杆后,金属杆的速度变为 v。导轨和金属杆的电阻不计,导轨光滑且足够长,杆在运动过程中始终与导轨垂直且两端与导轨保持良好接触。求:



(1) MN 刚扫过金属杆时,杆中感应电流的大小 I;

(2) MN 刚扫过金属杆时,杆的加速度大小 a;

(3) PQ 刚要离开金属杆时,感应电流的功率 P。

答案　(1) $\dfrac{Bdv_0}{R}$　(2) $\dfrac{B^2d^2v_0}{mR}$　(3) $\dfrac{B^2d^2(v_0-v)^2}{R}$

解析　本题考查法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律、牛顿第二定律。

(1)感应电动势 $E=Bdv_0$

感应电流 $I=\dfrac{E}{R}$

解得 $I=\dfrac{Bdv_0}{R}$

(2)安培力 $F=BId$

牛顿第二定律 $F=ma$

解得 $a=\dfrac{B^2d^2v_0}{mR}$

(3)金属杆切割磁感线的速度 $v'=v_0-v$,则

感应电动势 $E=Bd(v_0-v)$

电功率 $P=\dfrac{E^2}{R}$

解得 $P=\dfrac{B^2d^2(v_0-v)^2}{R}$

方法技巧　感应电动势的求法

感应电动势可分为感生电动势和动生电动势。感生电动势用公式 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 求解,且只能求解平均电动势。动生电动势用公式 $E=BLv$ 求解,既可以求平均电动势,也可以求瞬时电动势。用 $E=BLv$ 求解电动势时,v 为导体棒垂直切割磁感线的速度。

19.(2015 浙江理综,24,20 分)小明同学设计了一个"电磁天平",如图 1 所示,等臂天平的左臂为挂盘,右臂挂有矩形线圈,两臂平衡。线圈的水平边长 $L=0.1\ \text{m}$,竖直边长 $H=0.3\ \text{m}$,匝数为 N_1。线圈的下边处于匀强磁场内,磁感应强度 $B_0=1.0\ \text{T}$,方向垂直线圈平面向里。线圈中通有可在 0~2.0 A范围内调节的电流 I。挂盘放上待测物体后,调节线圈中电流使天平平衡,测出电流即可测得物体的质量。(重力加速度取 $g=10\ \text{m/s}^2$)

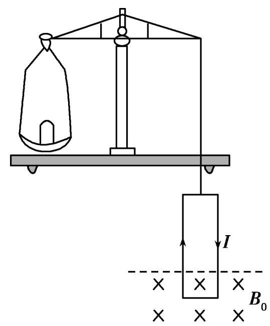


图 1

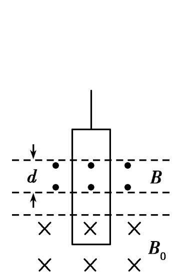


图 2

(1)为使电磁天平的量程达到 0.5 kg,线圈的匝数 N_1 至少为多少?

(2)进一步探究电磁感应现象,另选 $N_2=100$ 匝、形状相同的线圈,总电阻 $R=10\ \Omega$。不接外电流,两臂平衡。如图 2 所示,保持 B_0 不变,在线圈上部另加垂直纸面向外的匀强磁场,且磁感应强度 B 随时间均匀变大,磁场区域宽度 $d=0.1\ \text{m}$。当挂盘中放质量为 0.01 kg 的物体时,天平平衡,求此时磁感应强度的变化率 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$。

答案　(1)25　(2)0.1 T/s

解析　(1)线圈受到安培力 $F=N_1B_0IL$　①

天平平衡 $mg=N_1B_0IL$　②

代入数据得 $N_1=25$　③

(2)由电磁感应定律得 $E=N_2\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　④

$E=N_2\dfrac{\Delta B}{\Delta t}Ld$　⑤

由欧姆定律得 $I'=\dfrac{E}{R}$　⑥

线圈受到安培力 $F'=N_2B_0I'L$　⑦

天平平衡 $m'g=N_2^2B_0\dfrac{\Delta B}{\Delta t}\cdot\dfrac{dL^2}{R}$　⑧

代入数据可得

$\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=0.1\ \text{T/s}$　⑨

20.(2014 安徽理综,23,16 分)如图 1 所示,匀强磁场的磁感应强度 B 为 0.5 T,其方向垂直于倾角 θ 为 30°的斜面向上。绝缘斜面上固定有"∧"形状的光滑金属导轨 MPN(电阻忽略不计),MP 和 NP 长度均为 2.5 m,MN 连线水平,长为3 m。以 MN 中点 O 为原点、OP 为 x 轴建立一维坐标系 Ox。一根粗细均匀的金属杆 CD,长度 d 为 3 m、质量 m 为 1 kg、电阻 R 为 0.3 Ω,在拉力 F 的作用下,从 MN 处以恒定速度 $v=1\ \text{m/s}$在导轨上沿 x 轴正向运动(金属杆与导轨接触良好)。g 取10 m/s²。

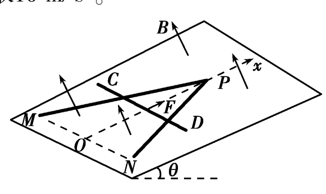


图1

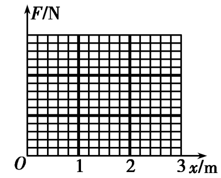


图2

(1)求金属杆 CD 运动过程中产生的感应电动势 E 及运动到 $x=0.8\ \text{m}$ 处电势差 U_{CD};

(2)推导金属杆 CD 从 MN 处运动到 P 点过程中拉力 F 与位置坐标 x 的关系式,并在图 2 中画出 F-x 关系图像;

(3)求金属杆 CD 从 MN 处运动到 P 点的全过程产生的焦耳热。

答案 见解析

解析 (1)金属杆 CD 在匀速运动中产生的感应电动势

$E=Blv(l=d)$,解得 $E=1.5$ V (D 点电势高)

当 $x=0.8$ m 时,金属杆在导轨间的电势差为零。设此时杆在导轨外的长度为 $l_{外}$,则

$l_{外}=d-\frac{OP-x}{OP}d$、$OP=\sqrt{MP^2-(\frac{MN}{2})^2}$,得 $l_{外}=1.2$ m

由楞次定律判断 D 点电势高,故 CD 两端电势差

$U_{CD}=-Bl_{外}v$,即 $U_{CD}=-0.6$ V

(2)杆在导轨间的长度 l 与位置 x 关系是

$l=\frac{OP-x}{OP}d=3-\frac{3}{2}x$

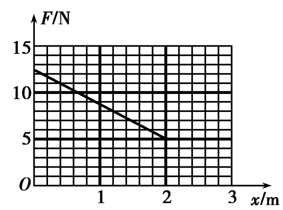
对应的电阻 R_l 为 $R_l=\frac{l}{d}R$,电流 $I=\frac{Blv}{R_l}$

杆受的安培力 $F_{安}=BIl=7.5-3.75x$

根据平衡条件得 $F=F_{安}+mg\sin\theta$

$F=12.5-3.75x(0\leqslant x\leqslant 2\text{ m})$

画出的 $F-x$ 图像如图所示。



(3)外力 F 所做的功 W_F 等于 $F-x$ 图线下所围的面积,即

$W_F=\frac{5+12.5}{2}\times 2\text{ J}=17.5\text{ J}$

而杆的重力势能增加量 $\Delta E_p=mg\,\overline{OP}\sin\theta$

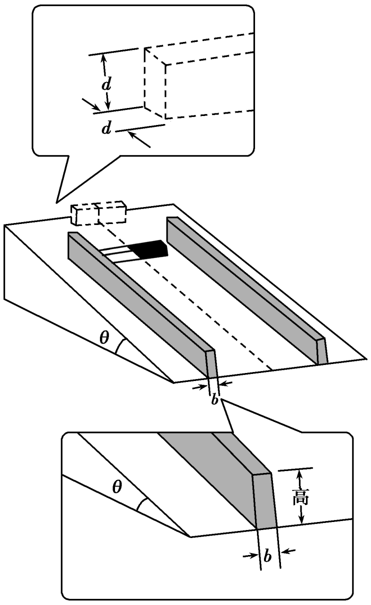
故全过程产生的焦耳热 $Q=W_F-\Delta E_p=7.5$ J

21.(2016天津理综,12,20分)电磁缓速器是应用于车辆上以提高运行安全性的辅助制动装置,其工作原理是利用电磁阻尼作用减缓车辆的速度。电磁阻尼作用可以借助如下模型讨论:如图所示,将形状相同的两根平行且足够长的铝条固定在光滑斜面上,斜面与水平方向夹角为 θ。一质量为 m 的条形磁铁滑入两铝条间,恰好匀速穿过,穿过时磁铁两端面与两铝条的间距始终保持恒定,其引起电磁感应的效果与磁铁不动、铝条相对磁铁运动相同。磁铁端面是边长为 d 的正方形,由于磁铁距离铝条很近,磁铁端面正对两铝条区域的磁场均可视为匀强磁场,磁感应强度为 B,铝条的高度大于 d,电阻率为 ρ。为研究问题方便,铝条中只考虑与磁铁正对部分的电阻和磁场,其他部分电阻和磁场可忽略不计,假设磁铁进入铝条间以后,减少的机械能完全转化为铝条的内能,重力加速度为 g。

(1)求铝条中与磁铁正对部分的电流 I;

(2)若两铝条的宽度均为 b,推导磁铁匀速穿过铝条间时速度 v 的表达式;

(3)在其他条件不变的情况下,仅将两铝条更换为宽度 $b'>b$ 的铝条,磁铁仍以速度 v 进入铝条间,试简要分析说明磁铁在铝条间运动时的加速度和速度如何变化。



答案 (1)$\frac{mg\sin\theta}{2Bd}$ (2)见解析 (3)见解析

解析 (1)磁铁在铝条间运动时,两根铝条受到的安培力大小相等均为 $F_{安}$,有

$F_{安}=IdB$ ①

磁铁受到沿斜面向上的作用力为 F,其大小有

$F=2F_{安}$ ②

磁铁匀速运动时受力平衡,则有

$F-mg\sin\theta=0$ ③

联立①②③式可得

$I=\frac{mg\sin\theta}{2Bd}$ ④

(2)磁铁穿过铝条时,在铝条中产生的感应电动势为 E,有

$E=Bdv$ ⑤

铝条与磁铁正对部分的电阻为 R,由电阻定律有

$R=\rho\frac{d}{db}$ ⑥

由欧姆定律有

$I=\frac{E}{R}$ ⑦

联立④⑤⑥⑦式可得

$v=\frac{\rho mg\sin\theta}{2B^2d^2b}$ ⑧

(3)磁铁以速度 v 进入铝条间,恰好做匀速运动时,磁铁受到沿斜面向上的作用力 F,联立①②⑤⑥⑦式可得

$F=\frac{2B^2d^2bv}{\rho}$ ⑨

当铝条的宽度 $b'>b$ 时,磁铁以速度 v 进入铝条间时,磁铁受到的作用力变为 F',有

$F'=\frac{2B^2d^2b'v}{\rho}$ ⑩

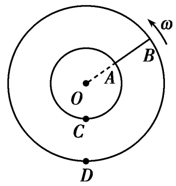
可见,$F'>F=mg\sin\theta$,磁铁所受到的合力方向沿斜面向上,获得与运动方向相反的加速度,磁铁将减速下滑,此时加速度最大。之后,随着运动速度减小,F' 也随着减小,磁铁所受的合力也减小,由于磁铁加速度与所受到的合力成正比,磁铁的加速度逐渐减小。综上所述,磁铁做加速度逐渐减小的减速运动。直到 $F'=mg\sin\theta$ 时,磁铁重新达到平衡状态,将再次以较小的速度匀速下滑。

解题指导 明确题中所构建的物理模型是解本题的关键。

另外要注意的是:两边铝条对磁铁均有电磁阻力,且阻力相同。对于(3)中磁铁运动过程的分析,可类比我们熟悉的情景:导体棒沿倾斜的平行金属导轨下滑。

方法技巧　当遇到崭新的物理情景时,可以把它与我们熟悉的情景进行分析对比,找出共同点与不同点,采用类比的方法解题,就容易突破难点。

22.(2014 课标Ⅱ,25,19 分)半径分别为 r 和 $2r$ 的同心圆形导轨固定在同一水平面内,一长为 r、质量为 m 且质量分布均匀的直导体棒 AB 置于圆导轨上面,BA 的延长线通过圆导轨中心 O,装置的俯视图如图所示。整个装置位于一匀强磁场中,磁感应强度的大小为 B,方向竖直向下。在内圆导轨的 C 点和外圆导轨的 D 点之间接有一阻值为 R 的电阻(图中未画出)。直导体棒在水平外力作用下以角速度 ω 绕 O 逆时针匀速转动,在转动过程中始终与导轨保持良好接触。设导体棒与导轨之间的动摩擦因数为 μ,导体棒和导轨的电阻均可忽略。重力加速度大小为 g。求



(1)通过电阻 R 的感应电流的方向和大小;

(2)外力的功率。

答案　(1)方向:由 C 端到 D 端　$\frac{3\omega Br^2}{2R}$

(2)$\frac{3}{2}\mu mg\omega r+\frac{9\omega^2B^2r^4}{4R}$

解析　(1)**解法一**　由感应电动势公式 $E=\frac{1}{2}B\omega(L_1^2-L_2^2)$ 得导体棒 AB 的感应电动势

$$E=\frac{1}{2}B\omega[(2r)^2-r^2]=\frac{3B\omega r^2}{2}$$

通过 R 的电流

$$I=\frac{E}{R}=\frac{3\omega Br^2}{2R}$$

由右手定则判得通过 R 的感应电流从 $C\to D$。

解法二　在 Δt 时间内,导体棒扫过的面积为

$$\Delta S=\frac{1}{2}\omega\Delta t[(2r)^2-r^2]　①$$

根据法拉第电磁感应定律,导体棒上感应电动势的大小为

$$E=\frac{B\Delta S}{\Delta t}　②$$

根据右手定则,感应电流的方向是从 B 端流向 A 端。因此,通过电阻 R 的感应电流的方向是从 C 端流向 D 端。由欧姆定律可知,通过电阻 R 的感应电流的大小 I 满足

$$I=\frac{E}{R}　③$$

联立①②③式得

$$I=\frac{3\omega Br^2}{2R}　④$$

解法三　$E=Br\bar{v}=Br\frac{\omega r+\omega\cdot 2r}{2}=\frac{3}{2}Br^2\omega$

$$I=\frac{E}{R}=\frac{3Br^2\omega}{2R}$$

由右手定则判得通过 R 的感应电流从 $C\to D$

解法四　取 $\Delta t=T$

$$E=\frac{B\cdot\Delta S}{\Delta t}=\frac{B(\pi\cdot 4r^2-\pi\cdot r^2)}{\frac{2\pi}{\omega}}=\frac{3}{2}Br^2\omega$$

$$I=\frac{E}{R}=\frac{3Br^2\omega}{2R}$$

由右手定则判得通过 R 的感应电流从 $C\to D$。

(2)**解法一**　在竖直方向有

$$mg-2N=0　⑤$$

式中,由于质量分布均匀,内、外圆导轨对导体棒的正压力大小相等,其值为 N。两导轨对运行的导体棒的滑动摩擦力均为

$$f=\mu N　⑥$$

在 Δt 时间内,导体棒在内、外圆导轨上扫过的弧长分别为

$$l_1=r\omega\Delta t　⑦$$

和

$$l_2=2r\omega\Delta t　⑧$$

克服摩擦力做的总功为

$$W_f=f(l_1+l_2)　⑨$$

在 Δt 时间内,消耗在电阻 R 上的功为

$$W_R=I^2R\Delta t　⑩$$

根据能量转化与守恒定律知,外力在 Δt 时间内做的功为

$$W=W_f+W_R　⑪$$

外力的功率为

$$P=\frac{W}{\Delta t}　⑫$$

由④至⑫式得

$$P=\frac{3}{2}\mu mg\omega r+\frac{9\omega^2B^2r^4}{4R}　⑬$$

解法二　由能量守恒

$P=P_R+P_f$

在竖直方向 $2N=mg$,则 $N=\frac{1}{2}mg$,得 $f=\mu N=\frac{1}{2}\mu mg$

$$P_f=\frac{1}{2}\mu mg\omega r+\frac{1}{2}\mu mg\cdot\omega\cdot 2r=\frac{3}{2}\mu mg\omega r$$

$$P_R=I^2R=\frac{9B^2r^4\omega^2}{4R}$$

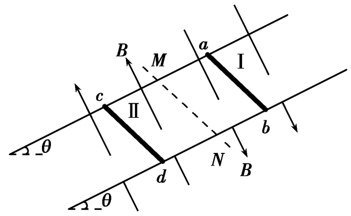
所以 $P=\frac{3}{2}\mu mg\omega r+\frac{9B^2\omega^2r^4}{4R}$

23.(2014 天津理综,11,18 分)如图所示,两根足够长的平行金属导轨固定在倾角 $\theta=30°$的斜面上,导轨电阻不计,间距 $L=0.4$ m。导轨所在空间被分成区域Ⅰ和Ⅱ,两区域的边界与斜面的交线为 MN,Ⅰ中的匀强磁场方向垂直斜面向下,Ⅱ中的匀强磁场方向垂直斜面向上,两磁场的磁感应强度大小均为 $B=0.5$ T。在区域Ⅰ中,将质量 $m_1=0.1$ kg,电阻 $R_1=0.1$ Ω 的金属条 ab 放在导轨上,ab 刚好不下滑。然后,在区域Ⅱ中将质量 $m_2=0.4$ kg,电阻 $R_2=0.1$ Ω 的光滑导体棒 cd 置于导轨上,由静止开始下滑。cd 在滑动过程中始终处于区域Ⅱ的磁场中,ab、cd 始终与导轨垂直且两端与导轨保持良好接触,取 $g=10$ m/s²。问

(1)cd 下滑的过程中,ab 中的电流方向;

(2)ab 刚要向上滑动时,cd 的速度 v 多大;

(3)从 cd 开始下滑到 ab 刚要向上滑动的过程中,cd 滑动的距离 $x=3.8$ m,此过程中 ab 上产生的热量 Q 是多少。



答案 (1)由 a 流向 b (2)5 m/s (3)1.3 J

解析 (1)由右手定则可知 ab 中电流方向由 a 流向 b。

(2)开始放置 ab 刚好不下滑时,ab 所受摩擦力为最大静摩擦力,设其为 F_{max},有

$F_{max}=m_1g\sin\theta$ ①

设 ab 刚要上滑时,cd 棒的感应电动势为 E,由法拉第电磁感应定律有

$E=BLv$ ②

设电路中的感应电流为 I,由闭合电路欧姆定律有

$I=\dfrac{E}{R_1+R_2}$ ③

设 ab 所受安培力为 $F_安$,有

$F_安=ILB$ ④

此时 ab 受到的最大静摩擦力方向沿斜面向下,由平衡条件有

$F_安=m_1g\sin\theta+F_{max}$ ⑤

综合①②③④⑤式,代入数据解得

$v=5$ m/s ⑥

(3)设 cd 棒的运动过程中电路中产生的总热量为 $Q_总$,由能量守恒有

$m_2gx\sin\theta=Q_总+\dfrac{1}{2}m_2v^2$ ⑦

又 $Q=\dfrac{R_1}{R_1+R_2}Q_总$ ⑧

解得 $Q=1.3$ J ⑨

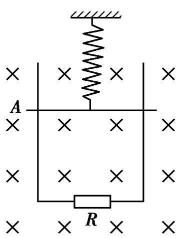
3年模拟 2018-2020

对应学生用书起始页码 263

时间:50分钟 分值:85分

一、选择题(每小题6分,共48分)

1.(2019江西协作体一模,20)(多选)在水平向里、磁感应强度为 B 的匀强磁场中竖直放置两根间距为 L 的光滑金属导轨,底端接电阻 R,轻弹簧上端固定,下端悬挂质量为 m、电阻为 r 的金属棒,金属棒和导轨接触良好,导轨电阻不计。金属棒静止时位于 A 处。现将金属棒从弹簧原长位置由静止释放,金属棒在运动过程中始终保持水平,弹簧的劲度系数为 k,重力加速度为 g。则下列说法正确的是 ( )



A.金属棒向下运动时通过 R 的电流方向是从右向左

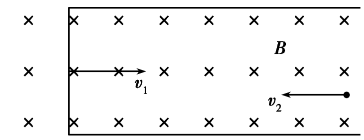
B.金属棒第一次到达 A 处时速度最大

C.金属棒能到达的最低点在 A 位置下方 $\dfrac{mg}{k}$ 处

D.金属棒从释放到第一次下降到 A 位置的过程中,通过电阻 R 的电荷量为 $\dfrac{mgBL}{k(R+r)}$

答案 AD 根据楞次定律可知,金属棒向下运动时通过 R 的电流方向是从右向左,故A项正确。金属棒静止时在 A 点,$mg=kx$,金属棒第一次运动到 A 点时除受重力、弹簧弹力外还受到向上的安培力,故在到达 A 点之前速度已达到最大,故B错误。在 A 点下方 $\dfrac{mg}{k}$ 处,减小的重力势能为 $2mg\cdot\dfrac{mg}{k}=\dfrac{2m^2g^2}{k}$,增加的弹性势能为 $\dfrac{1}{2}k\cdot\dfrac{4m^2g^2}{k^2}=2\dfrac{m^2g^2}{k}$,考虑到回路生热及能量守恒,金属棒不能到达这一位置,故C错误。金属棒第一次运动到 A 点过程中,通过 R 的电荷量为 $\dfrac{\Delta\Phi}{R+r}=\dfrac{mgBL}{k(R+r)}$,故D项正确。所以选A、D。

2.(2018河南郑州外国语学校仿真模拟,18)(多选)如图所示,用一矩形薄金属板折成"匚"形金属槽,放置在垂直纸面向里的匀强磁场中,并以对地的速度 v_1 向右水平匀速运动,从槽口右侧水平向左射入质量为 m,对地速度为 v_2 的微粒,如果该微粒进入槽内能做匀速圆周运动,不考虑磁场的变化,则下列判断正确的是 ( )



A.该微粒一定带负电

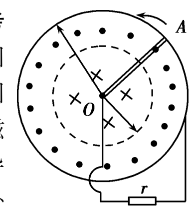
B.该微粒一定顺时针运动

C.该微粒一定受三个恒力的作用

D.该微粒只受一个力的作用

答案 AB "匚"形金属槽以速度 v_1 切割磁感线产生感应电动势,由右手定则可知,"匚"形金属槽的上极板电势高于下极板电势,因此,在两极板间产生竖直向下的电场,进入槽内的微粒做匀速圆周运动,则竖直向上的电场力平衡竖直向下的重力,微粒带负电,选项A正确;由左手定则可知微粒沿顺时针方向做匀速圆周运动,选项B正确;该微粒一定受三个力的作用,但洛伦兹力的方向时刻变化,选项C、D错误。

3.(2019四川成都石室中学第二次诊断性考试,21)(多选)如图所示,半径为 $2L$ 的小圆与半径为 $3L$ 的圆形金属导轨拥有共同的圆心,在小圆区域内存在垂直于纸面向里的磁感应强度大小为 B 的匀强磁场,在小圆与导轨之间的环形区域内存在垂直于纸面向外的磁感应强度大小为 $2B$ 的匀强磁场。现将一长度为 $3L$ 的导体棒置于磁场中,让其一端 O 点与圆心重合,另一端与圆形导轨良好接触。在 O 点与导轨间接入一阻值为 r 的电阻,导体棒以角速度 ω 沿导轨逆时针做匀速圆周运动,其他电阻不计。下列说法正确的是 ( )



A.导体棒 O 点的电势比 A 点的电势低

B.在导体棒的内部电流由 A 点流向 O 点

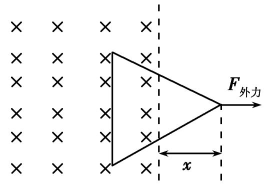
C.在导体棒旋转一周的时间内,通过电阻 r 的电荷量为 $\dfrac{2\pi BL^2}{r}$

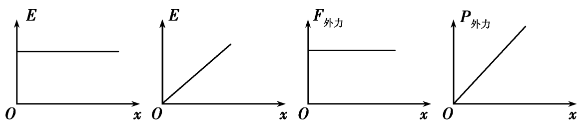
D.在导体棒旋转一周的时间内,电阻 r 产生的焦耳热为 $\dfrac{18\pi B^2L^4\omega}{r}$

答案 AD 导体棒在半径为 $2L$ 的小圆区域内切割磁感线产生的感应电动势 $E_1=B(2L)\dfrac{\omega(2L)}{2}=2BL^2\omega$,根据右手定则,内部电势更高;导体棒在环形区域切割磁感线产生的感应电动势 $E_2=2BL\dfrac{2L\omega+3L\omega}{2}=5B\omega L^2$,所以整个导体棒的感应电流沿

半径向外,即由 O 点流向 A 点,故 O 点的电势比 A 点的电势低,A 正确,B 错误。电路中的电流 $I=\frac{E_2-E_1}{r}=\frac{3B\omega L^2}{r}$,周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}$,在导体棒旋转一周的时间内,通过电阻 r 的电荷量 $q=IT=\frac{6\pi BL^2}{r}$,产生的焦耳热 $Q=I^2rT=\frac{18\pi\omega B^2L^4}{r}$,故 C 错误,D 正确。

4.(2020 届江西九江联考,5) 边长为 a 的闭合金属正三角形框架,左边竖直且与磁场右边界平行,完全处于垂直框架平面向里的匀强磁场中。现把框架匀速水平向右拉出磁场,如图所示,则下列图像与这一过程相符合的是　(　　)



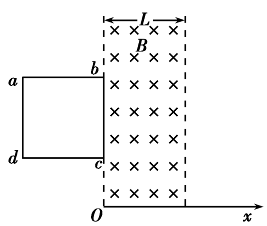


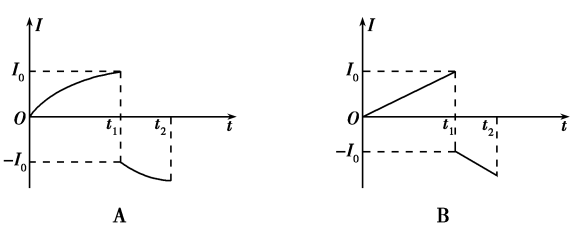
A　B　C　D

答案　B　本题考查了电磁感应中的图像问题,体现了科学思维中科学推理要素。

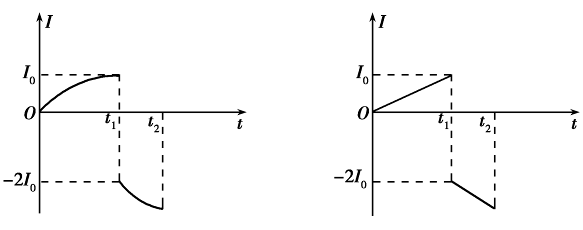
该过程中,框架切割磁感线的有效长度等于框架与磁场右边界两交点的间距,根据几何关系有 $l_有=\frac{2\sqrt{3}}{3}x$,所以 $E=Bl_有v=\frac{2\sqrt{3}}{3}Bvx$,故 A 错误,B 正确,$F_{外力}=\frac{B^2l_有^2v}{R}=\frac{4B^2x^2v}{3R}$,故 C 错误;$P_{外力}=F_{外力}v\propto x^2$,故 D 错误。

5.(2019 安徽合肥一检) 如图所示,一有界区域磁场的磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向里,磁场宽度为 L;正方形导线框 $abcd$ 的边长也为 L,当 bc 边位于磁场左边缘时,线框从静止开始沿 x 轴正方向匀加速通过磁场区域。若规定逆时针方向的电流为正,则反映线框中感应电流变化规律的图像是　(　　)





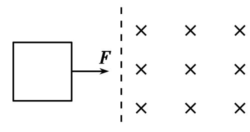
A　　B



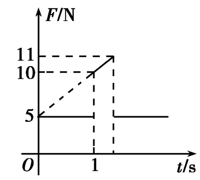
C　　D

答案　B　由 $E=BLv$,$v=at$,$I=\frac{E}{R}$,联立得 $I=\frac{BLat}{R}$,$\frac{BLa}{R}$为恒量,感应电流与运动时间成正比,由楞次定律可知,线框进入时,感应电流方向为逆时针,线框出磁场时,线框中的感应电流方向为顺时针,故选项 B 正确。

6.(2018 广西南宁 3 月适应性测试,20)(多选)如图甲所示,一正方形单匝线框放在光滑绝缘的水平面上,在水平向右的拉力作用下从图示位置由静止开始始终向右做匀加速直线运动,线框右侧有一个垂直于水平面向下的匀强磁场区域,磁场区域足够大,线框的右边始终与磁场的边界平行,线框的质量为1 kg,电阻为 1 Ω,整个运动过程中,拉力的大小随时间的变化如图乙所示,则　(　　)



甲



乙

A.线框运动的加速度为 5 m/s²

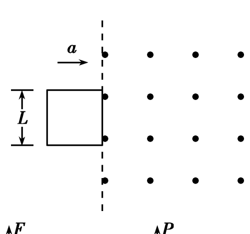
B.线框刚好完全进入磁场的时刻为 $t=1.2$ s

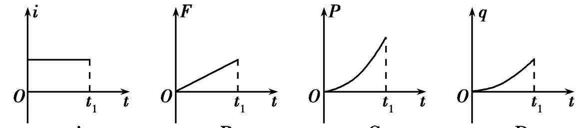
C.线框的边长为 0.55 m

D.磁场的磁感应强度大小为 1.1 T

答案　AB　由乙图可知,线框在磁场外受到的合外力为 5 N,则运动的加速度 $a=\frac{F}{m}=\frac{5}{1}$ m/s² = 5 m/s²,A 项正确;线框进入磁场时,由图像得 $\frac{10\ \text{N}-5\ \text{N}}{1\ \text{s}}=\frac{11\ \text{N}-5\ \text{N}}{t}$,求得 $t=1.2$ s,B 项正确;线框的边长为 $L=\frac{1}{2}\times5\times(1.2^2-1^2)$ m = 1.1 m,C 项错误;线框进磁场的过程中,$F-\frac{B^2L^2}{R}at=ma$,即 $F=\frac{B^2L^2}{R}at+ma$,则 $\frac{B^2L^2}{R}a=5$ N/s,得磁感应强度 $B=\frac{10}{11}$ T,D 项错误。

7.(2018 湖北黄冈期末)(多选)如图所示,在光滑水平面内,虚线右侧存在匀强磁场,磁场方向垂直纸面向外,一正方形金属线框质量为 m,电阻为 R,边长为 L,从虚线处进入磁场时开始计时,在外力作用下,线框由静止开始,以垂直于磁场的恒定加速度 a 进入磁场区域,t_1 时刻线框全部进入磁场,规定顺时针方向为感应电流 i 的正方向,外力大小为 F,线框中电功率的瞬时值为 P,通过导体横截面的电荷量为 q,其中 $P-t$ 和 $q-t$ 图像均为抛物线的一部分,则这些量随时间变化的图像正确的是　(　　)



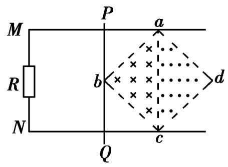


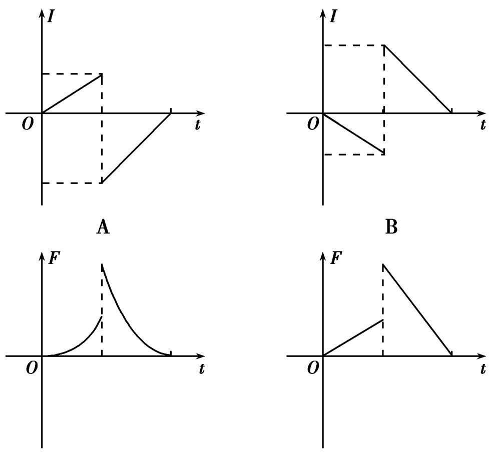
A　B　C　D

答案　CD　线框切割磁感线,运动速度 $v=at$,产生的感应电动势 $e=BLv$,产生的感应电流 $i=\frac{BLv}{R}=\frac{BLat}{R}$,故 A 错误;对线框受力分析,由牛顿第二定律,有 $F-F_安=ma$,其中 $F_安=BLi=\frac{B^2L^2at}{R}$,得 $F=ma+\frac{B^2L^2at}{R}$,故 B 错误;功率 $P=i^2R=\frac{(BLat)^2}{R}$,$P-$

t 图线为抛物线的一部分,故 C 正确;由 $q=\frac{\Delta\Phi}{R}$,有 $q=\frac{BL\cdot\frac{1}{2}at^2}{R}$,$q-t$ 图线为抛物线的一部分,故 D 正确。

8.(2019 河北衡水中学高考模拟九)(多选)如图所示,导体棒 PQ 沿两平行导轨从图中位置以速度 v 向右匀速通过一正方形磁场区域,ac 垂直于导轨且平行于导体棒,ac 右侧的磁感应强度是左侧的 2 倍且方向相反,导轨和导体棒的电阻均不计,下列关于导体棒中感应电流和所受安培力随时间变化的图像正确的是(规定电流由 M 经 R 到 N 为正方向,安培力向左为正方向) ( )





答案 AC 设 ac 左侧磁感应强度大小是 B,则右侧的磁感应强度大小为 $2B$,导轨间距为 L。导体棒 PQ 通过 bac 区域时,由右手定则可知导体棒中感应电流从 Q 到 P,为正方向,有 $I=\frac{E}{R}=\frac{B\cdot 2vt\cdot v}{R}=\frac{2Bv^2t}{R}\propto t$,$PQ$ 刚到 ac 时,$I=\frac{BLv}{R}$;导体棒 PQ 通过 acd 区域时,由右手定则可知导体棒中感应电流从 P 到 Q,为负方向,有 $I=\frac{E}{R}=\frac{2B(L-2vt)v}{R}$,可知 I 随时间均匀减小,PQ 棒刚离开 ac 时,$I=\frac{2BLv}{R}$。故 A 正确,B 错误。导体棒 PQ 通过 bac 区域时,安培力为 $F=BI\cdot 2vt=\frac{4B^2v^3t^2}{R}\propto t^2$;导体棒 PQ 通过 acd 区域时,安培力大小为 $F=2BI\cdot(L-2vt)=\frac{4B^2(L-2vt)^2v}{R}$。根据数学知识可得,C 正确,D 错误。故选 A、C。

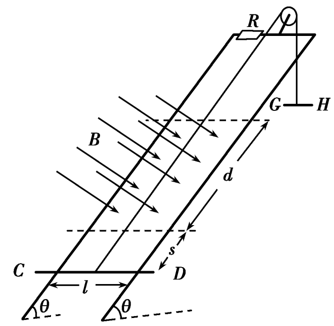
二、非选择题(共 37 分)

9.(11 分)**(2020 届内蒙古包头联考,14)**小明设计的电磁健身器的简化装置如图所示,两根平行金属导轨相距 $l=0.50$ m,倾角 $\theta=53°$,导轨上端串接一个 $R=0.05\ \Omega$ 的电阻。在导轨间长 $d=0.56$ m的区域内,存在方向垂直导轨平面向下的匀强磁场,磁感应强度 $B=2.0$ T。质量 $m=4.0$ kg 的金属棒 CD 水平置于导轨上,用绝缘绳索通过定滑轮与拉杆 GH 相连。CD 棒的初始位置与磁场区域的下边界相距 $s=0.24$ m。一位健身者用恒力$F=80$ N 拉动 GH 杆,CD 棒由静止开始运动,上升过程中 CD 棒始终保持与导轨垂直。当 CD 棒到达磁场上边界时健身者松手,触发恢复装置使 CD 棒回到初始位置(重力加速度 $g=10\ \text{m/s}^2$,$\sin 53°=0.8$,不计其他电阻、摩擦力以及拉杆和绳索的质量)。求

(1)CD 棒进入磁场时速度 v 的大小;

(2)CD 棒进入磁场时所受的安培力 F_A 的大小;

(3)在拉升 CD 棒的过程中,健身者所做的功 W 和电阻产生的焦耳热 Q。



答案 (1)2.4 m/s (2)48 N (3)64 J 26.88 J

解析 (1)由牛顿第二定律得 $a=\frac{F-mg\sin\theta}{m}=12\ \text{m/s}^2$ ①

进入磁场时的速度 $v=\sqrt{2as}=2.4$ m/s ②

(2)感应电动势 $E=Blv$ ③

感应电流 $I=\frac{Blv}{R}$ ④

安培力 $F_A=IBl$ ⑤

代入得 $F_A=\frac{(Bl)^2v}{R}=48$ N ⑥

(3)健身者做功 $W=F(s+d)=64$ J ⑦

由 $F-mg\sin\theta-F_A=0$ ⑧

可知 CD 棒在磁场区做匀速运动

在磁场中运动时间 $t=\frac{d}{v}$ ⑨

焦耳热 $Q=I^2Rt=26.88$ J ⑩

解题指导 (1)应用动力学的方法或应用动能定理均可,应用动能定理更简便。

(3)求解焦耳热有两种思路:①应用 $Q=I^2Rt$ 求解;②应用功能关系求解。

方法技巧 (1)解法 2:对 CD 棒应用动能定理有:

$(F-mg\sin\theta)s=\frac{1}{2}mv^2$

代入数据解得:$v=2.4$ m/s

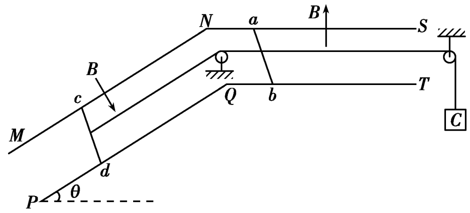
(3)解法 2:对 CD 棒穿过磁场的过程应用功能关系有:

$(F-mg\sin\theta)d-Q=0$

解得:$Q=26.88$ J

10.(14 分)**(2018 湖北四地七校联考)**如图所示,相距 $L=0.5$ m 的平行导轨 MNS、PQT 处在磁感应强度 $B=0.4$ T 的匀强磁场中,水平导轨处的磁场方向竖直向上,光滑倾斜导轨处的磁场方向垂直于导轨平面斜向下。质量均为 $m=40$ g、电阻均为 $R=0.1\ \Omega$ 的导体棒 ab、cd 均垂直放置于导轨上,并与导轨接触良好,导轨电阻不计。质量为 $M=200$ g 的物体 C,用绝缘细线绕过光滑的定滑轮分别与导体棒 ab、cd 相连接。细线沿导轨中心线且在导轨平面内,细线及滑轮质量不计。已知倾斜导轨与水平面的夹角 $\theta=37°$,水平导轨与 ab 棒间的动摩擦因数 $\mu=0.4$。重力加速度 $g=10\ \text{m/s}^2$,水平导轨足够长,导体棒 cd 运动中始终不离开倾斜导轨。物体 C 由静止释放,当它达到最大速度时下落高度 $h=1$ m,试求这一运动过程中:

(sin 37° = 0.6, cos 37° = 0.8)



(1)物体 C 能达到的最大速度 v_m 是多少;

(2)系统产生的热量是多少;

(3)连接 cd 棒的细线对 cd 棒做的功是多少。

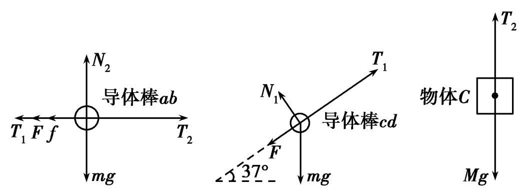
答案　(1)2 m/s　(2)1.2 J　(3)0.84 J

解析　(1)设物体 C 达到的最大速度为 v_m,由法拉第电磁感应定律得回路的感应电动势为 $E=2BLv_m$

由闭合电路欧姆定律得回路中的电流为 $I=\dfrac{E}{2R}$

导体棒 ab、cd 受到的安培力大小为 $F=BLI$

设连接导体棒 ab 与 cd 的细线中张力大小为 T_1,连接导体棒 ab 与物体 C 的细线中张力大小为 T_2,导体棒 ab、cd 及物体 C 的受力如图,由平衡条件得:



$T_1=mg\sin 37°+F$

$T_2=T_1+F+f$

$T_2=Mg$

其中 $f=\mu mg$

解得:$v_m=2$ m/s

(2)系统在该过程中产生的热量为 Q_1,由能量守恒定律得:

$Mgh=\dfrac{1}{2}(2m+M)v_m^2+mgh\sin 37°+Q_1$

解得 $Q_1=1.2$ J

(3)运动过程中由于摩擦产生的热量 $Q_2=\mu mgh=0.16$ J

由第(2)问的计算结果知,这一过程中电流产生的热量 $Q_3=Q_1-Q_2=1.04$ J

又因为 ab 棒、cd 棒的电阻相等,故电流通过 cd 棒产生的热量 $Q_4=\dfrac{Q_3}{2}=0.52$ J

对导体棒 cd,设这一过程中细线对其做的功为 W,则由能量守恒定律得:

$W=mgh\sin 37°+\dfrac{1}{2}mv_m^2+Q_4$

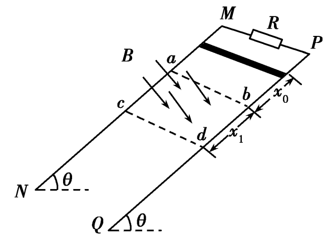
解得:$W=0.84$ J

11.(12分)(**2019四川教考联盟高三毕业班摸底测试,17**)如图所示,两平行金属导轨 MN、PQ 与水平面的夹角为 θ,两导轨之间相距为 L,两导轨 M、P 间接入阻值为 R 的电阻,导轨电阻不计。在 $abdc$ 区域内有一个方向垂直于两导轨平面向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场,磁场区域的长度为 x_1。一根长为 L、质量为 m 的金属棒垂直放在金属导轨上,与导轨接触良好,金属棒的电阻为 r。若将金属棒在离 ab 连线上端 x_0 处自由释放,金属棒离开磁场前已经做匀速直线运动。金属棒与导轨间的动摩擦因数为 μ,重力加速度为 g。求:

(1)金属棒离开磁场时的速度大小;

(2)金属棒从释放到离开磁场产生的焦耳热;

(3)金属棒从释放到离开磁场所用的时间。



答案　(1)$\dfrac{mg(\sin\theta-\mu\cos\theta)(R+r)}{B^2L^2}$

(2)$\dfrac{r}{r+R}\left[mg(x_0+x_1)(\sin\theta-\mu\cos\theta)-\dfrac{m^3g^2(\sin\theta-\mu\cos\theta)^2(r+R)^2}{2B^4L^4}\right]$

(3)$\dfrac{m(r+R)}{B^2L^2}+\dfrac{B^2L^2x_1}{mg(\sin\theta-\mu\cos\theta)(r+R)}$

解析　(1)金属棒离开磁场时做匀速运动,则有

$mg\sin\theta=f+F_{安}$

$N=mg\cos\theta$,$f=\mu N$

所以 $F_{安}=mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta$

金属棒离开磁场时的感应电动势 $E=BLv$

感应电流大小 $I=\dfrac{E}{R+r}$

金属棒受到的安培力 $F_{安}=BIL$

联立以上各式得 $v=\dfrac{mg(\sin\theta-\mu\cos\theta)(R+r)}{B^2L^2}$

(2)设回路中产生的总焦耳热为 $Q_{总}$,摩擦生热为 Q_f,由系统能量守恒得 $mg(x_0+x_1)\sin\theta=Q_{总}+Q_f+\dfrac{1}{2}mv^2$

摩擦生热 $Q_f=\mu mg(x_0+x_1)\cos\theta$

所以 $Q_{总}=mg(x_0+x_1)(\sin\theta-\mu\cos\theta)-\dfrac{1}{2}mv^2$

因为 R 与 r 串联,设金属棒上产生的焦耳热为 Q_r,则

$\dfrac{Q_r}{Q_{总}}=\dfrac{r}{r+R}$

所以金属棒上产生的焦耳热

$Q_r=\dfrac{r}{r+R}\left[mg(x_0+x_1)(\sin\theta-\mu\cos\theta)-\dfrac{m^3g^2(\sin\theta-\mu\cos\theta)^2(r+R)^2}{2B^4L^4}\right]$

(3)金属棒在离开磁场前的过程中取任意微小过程,设这一微小过程的时间为 Δt_i,速度为 v_i,速度的变化量为 Δv_i

则由动量定理,有

$mg\sin\theta\cdot\Delta t_i-\mu mg\cos\theta\cdot\Delta t_i-\dfrac{B^2L^2v_i}{R+r}\Delta t_i{}'=m\Delta v_i$

金属棒从释放到离开磁场的过程中,有

$(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)\sum\Delta t_i-\dfrac{B^2L^2\sum v_i\Delta t_i{}'}{R+r}=m\sum\Delta v_i$

$(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)t-\dfrac{B^2L^2x_1}{R+r}=mv-0$

解得 $t=\dfrac{m(r+R)}{B^2L^2}+\dfrac{B^2L^2x_1}{mg(\sin\theta-\mu\cos\theta)(r+R)}$

专题十二　交变电流

探考情 悟真题
5年考情探究
真题典例探秘

考情探究
对应学生用书起始页码138

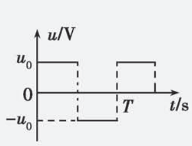
考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
交变电流的产生及描述	交变电流的产生	2016 课标Ⅲ,21,6 分	3		科学推理		★★☆
		2017 天津理综,6,6 分	3	焦耳定律	模型建构		
		2015 四川理综,4,6 分	3		科学推理		
	交变电流的描述	2019 天津理综,8,6 分	3		能量观念		
		2018 课标Ⅲ,16,6 分	3	焦耳定律	能量观念		
变压器、电能的输送	变压器	2019 江苏单科,1,3 分	3		科学推理		★★★
		2016 课标Ⅰ,16,6 分	3		能量观念		
		2016 课标Ⅲ,19,6 分	3		科学推理		
		2015 课标Ⅰ,16,6 分	3		能量观念		
		2018 天津理综,4,6 分	3		能量观念		
		2016 天津理综,5,6 分	3		科学推理		
		2015 安徽理综,16,6 分	3		科学推理		
		2015 广东理综,15,4 分	3		科学推理		
	电能的输送	2018 江苏理综,2,3 分	3		能量观念		
		2015 福建理综,15,6 分	3		能量观念		

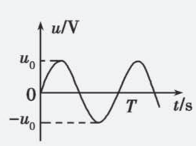
分析解读

本专题知识是电磁感应知识的应用和延伸,因此运用电磁感应定律来理解交变电流的产生及变压器的原理是关键和核心。交变电流的有效值、平均值、图像及变压器原理、远距离输电是高考的重点。交流电路与工农业生产和日常生活紧密联系,所以复习时一定要注意理论与实际的结合。

真题探秘
对应学生用书起始页码139

(2018课标Ⅲ,16,6分)一电阻接到方波交流电源上,在一个周期内产生的热量为$Q_方$;若该电阻接到正弦交流电源上,在一个周期内产生的热量为$Q_正$。该电阻上电压的峰值均为u_0,周期均为T,如图所示。则$Q_方$∶$Q_正$等于　(　　)





A.1∶$\sqrt{2}$　　B.$\sqrt{2}$∶1　　C.1∶2　　D.2∶1

给定第二个条件,先根据$U=\frac{\sqrt{2}}{2}u_0$求交流电的有效值,再求焦耳热

计算交变电流通过电阻时产生的焦耳热,隐含着对两种交变电流有效值的求解

给定第一个条件,可由$Q=\frac{U^2}{R}t$计算焦耳热

给定第三个条件,虽然峰值相同,但有效值不同

❶ 核心要点

交流电有效值的求解，焦耳定律的应用。

❷ 设问方式

针对两种交流电在相等时间内通过同一电阻时产生的焦耳热的设问，给出四个热量的比值。

❸ 思路分析

根据题设和图像信息，首先确定出方波交流是方向变化，大小不变，其有效值等于u_0，而正弦交流电的有效值为$\frac{\sqrt{2}}{2}u_0$，由焦耳定律得出结论。

❹ 能力要求

灵活计算交流电有效值的能力。数学运算的能力。

❺ 易错警示

正弦式交变电流的有效值是其峰值的$\frac{1}{\sqrt{2}}$，其他交流电的有效值和峰值间一般不存在该关系。

❻ 答案

D　详细解析见271页5年高考A组第2题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

考点清单

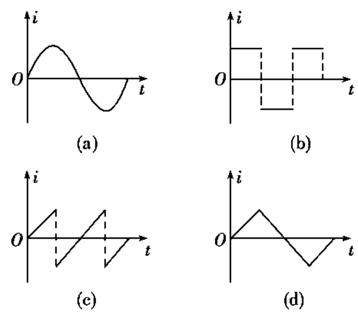
对应学生用书起始页码 139

考点一　交变电流的产生及描述

考向基础

1.交变电流

如图(a)、(b)、(c)、(d)所示都属于交变电流。其中按正弦规律变化的交变电流叫正弦式交变电流，如图(a)所示。



2.正弦式交变电流的产生和变化规律

(1)产生：在匀强磁场里，绕垂直于磁场方向的轴匀速转动的线圈里产生的是正弦式交变电流。

(2)规律

a.函数形式：若N匝面积为S的线圈以角速度ω绕垂直于磁场方向的轴匀速转动，磁感应强度为B，从中性面开始计时，其函数形式为$e=NBS\omega\sin\omega t$，用$E_m=NBS\omega$表示电动势的最大值，则有$e=E_m\sin\omega t$。其电流大小为$i=\frac{e}{R}=\frac{E_m}{R}\sin\omega t=I_m\sin\omega t$。

b.图像：用以描述正弦交流电电流随时间变化的规律，如图(a)所示。

3.表征交变电流的物理量

(1)瞬时值：交变电流某一时刻的值。

(2)最大值：即最大的瞬时值。

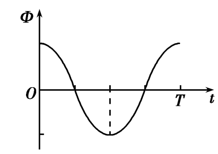
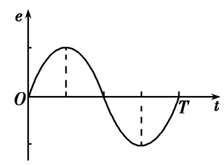
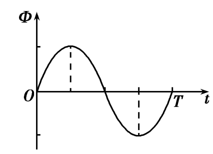
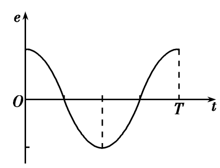
(3)有效值：跟交变电流的热效应等效的恒定电流的值叫做交变电流的有效值。

(4)周期和频率：交变电流完成一次周期性变化所用的时间叫周期；1 s内完成周期性变化的次数叫频率。它们和角速度间的关系为$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$。

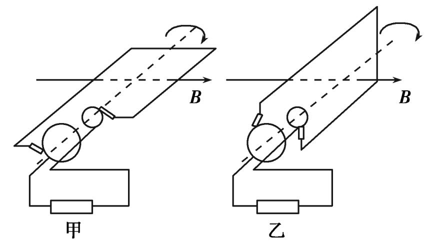
考向突破

考向一　交变电流的产生

正弦式交变电流磁通量和电动势的关系

计时起点	物理量	函数	图像
从$S\perp B$(中性面)开始计时	磁通量	$\Phi=\Phi_m\cos\omega t$	
	电动势	$e=E_m\sin\omega t$	
从$S/\!/B$(磁通量为零)开始计时	磁通量	$\Phi=\Phi_m\sin\omega t$	
	电动势	$e=E_m\cos\omega t$	
说明	$\Phi_m=BS$；$E_m=NBS\omega$		

例1　如图所示，在水平向右的匀强磁场中，一线框绕垂直于磁感线的轴匀速转动，线框通过电刷、圆环、导线等与定值电阻组成闭合回路。t_1、t_2时刻线框分别转到图甲、乙所示的位置，下列说法正确的是　(　　)



A.t_1时刻穿过线框的磁通量最大

B.t_1时刻电阻中的电流最大，方向从右向左

C.t_2时刻穿过线框的磁通量变化最快

D.t_2时刻电阻中的电流最大，方向从右向左

解析 t_1时刻,穿过线框的磁通量为零,线框产生的感应电动势最大,电阻中的电流最大,根据楞次定律,通过电阻的电流方向从右向左,A 错误,B 正确;t_2时刻,穿过线框的磁通量最大,线框产生的感应电动势为零,电阻中的电流为零,C、D 错误。

答案 B

考向二 交变电流的描述

一、正弦式交变电流的瞬时值、峰值、有效值、平均值的比较

物理量	物理含义	重要关系	适用情况及说明
瞬时值	交变电流某一时刻的值	$e=E_m\sin\omega t$ $i=I_m\sin\omega t$	计算线圈某时刻的受力情况的瞬时值
峰值	最大的瞬时值	$E_m=NBS\omega$ $E_m=N\Phi_m\omega$ $I_m=\frac{E_m}{R+r}$	讨论电容器的击穿电压
有效值	跟交变电流的热效应等效的恒定电流值	对正弦式交变电流有: $E=E_m/\sqrt{2}$ $U=U_m/\sqrt{2}$ $I=I_m/\sqrt{2}$	(1)计算与电流热效应有关的量(如功、功率、热量等) (2)电器设备“铭牌”上所标的一般是有效值 (3)保险丝的熔断电流为有效值
平均值	交变电流图像中图线与时间轴所围的面积与时间的比值	$\overline{E}=BL\overline{v}$ $\overline{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\overline{I}=\frac{\overline{E}}{R+r}$	计算一段时间内通过导体横截面的电荷量

二、有效值的计算

(1)各种交流电器设备上所标的额定电压和额定电流,一般交变电流表、电压表测量的值均为有效值。

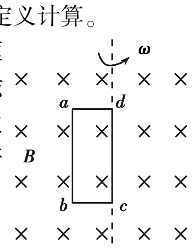
(2)求电功、电功率、焦耳热以及确定保险丝的熔断电流等物理量时,要用有效值计算。

(3)有效值的计算方法

①正弦式交变电流的有效值 $U=\frac{\sqrt{2}}{2}U_m\left(I=\frac{\sqrt{2}}{2}I_m,E=\frac{\sqrt{2}}{2}E_m\right)$;

②非正弦式交变电流的有效值由有效值定义计算。

例 2 如图所示,单匝矩形闭合导线框 $abcd$ 全部处于磁感应强度为 B 的水平匀强磁场中,线框面积为 S,电阻为 R,线框绕与 cd 边重合的竖直固定转轴以角速度 ω 从中性面开始匀速转动,下列说法正确的是 ( )



A.转过$\frac{\pi}{6}$时,线框中的电流方向为 $abcda$

B.线框中感应电流的有效值为$\frac{\sqrt{2}BS\omega}{2R}$

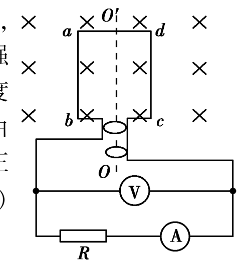
C.线框转一周的过程中,产生的热量为$\frac{2\pi\omega B^2S^2}{R}$

D.从中性面开始转过$\frac{\pi}{2}$的过程中,通过导线横截面积的电荷量为$\frac{BS}{2R}$

解析 转过$\frac{\pi}{6}$时,线框中的电流方向为顺时针方向,即 $adcba$,故 A 错误;线圈转动过程中产生电动势的有效值为 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=\frac{BS\omega}{\sqrt{2}}$,所以电流的有效值为 $I=\frac{E}{R}=\frac{\sqrt{2}BS\omega}{2R}$,故 B 正确;产生的热量 $Q=I^2Rt=\left(\frac{\sqrt{2}BS\omega}{2R}\right)^2\cdot R\cdot\frac{2\pi}{\omega}=\frac{\pi B^2S^2\omega}{R}$,故 C 错误;从中性面开始转过$\frac{\pi}{2}$的过程中,通过导线横截面积的电荷量为 $q=\overline{I}t=\frac{\overline{E}}{R}t=\frac{\Delta\Phi}{tR}\times t=\frac{\Delta\Phi}{R}=\frac{BS}{R}$,故 D 错误。

答案 B

例 3 如图所示,矩形线圈面积为 S,匝数为 N,线圈电阻为 r,线圈在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕 OO' 轴以角速度 ω 匀速转动,外电路电阻为 R,当线圈由图示位置转过 60°的过程中,下列判断正确的是 ( )



A.电压表的读数为 $\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$

B.通过电阻 R 的电荷量为 $q=\frac{NBS}{2(R+r)}$

C.电阻 R 所产生的焦耳热为 $Q=\frac{N^2B^2S^2\omega R\pi}{4(R+r)^2}$

D.当线圈由图示位置转过 60°时的电流为 $\frac{NBS\omega}{2(R+r)}$

解析 线圈在磁场中转动产生了正弦式电流,其电动势的最大值 $E_m=NBS\omega$,电动势的有效值 $E=\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$,电压表的读数等于交流电路路端电压,且为有效值,则 $U=\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}(R+r)}\times R$,A 错误;求通过电阻 R 的电荷量要用交流电的平均电流求,则 $q=\overline{I}\times t=\frac{N\times\Delta\Phi}{R+r}=\frac{N(BS-\frac{1}{2}BS)}{R+r}=\frac{NBS}{2(R+r)}$,故 B 正确;电阻 R 产生的热量应该用有效值来计算,线圈由图示位置转过 90°过程中,电阻 R 产生的热量为$\left[\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}(R+r)}\right]^2R\times\frac{\frac{\pi}{2}}{\omega}=\frac{N^2B^2S^2\omega R\pi}{4(R+r)^2}$,故 C 错误;线圈由图示位置转过 60°时的电流为瞬时值,则符合瞬时值的表达式为 $i=\frac{NBS\omega}{R+r}\times\sin\omega t=\frac{NBS\omega}{R+r}\times\sin\frac{\pi}{3}=\frac{\sqrt{3}NBS\omega}{2(R+r)}$,故 D 错误。

答案 B

考点二 变压器、电能的输送

考向基础

一、电阻、感抗与容抗

	电阻	感抗	容抗
产生的原因	定向移动的自由电荷与不动的粒子间的碰撞	电感线圈的自感现象阻碍电流的变化	电容器两极板上积累的电荷对向这个方向定向移动的电荷的反抗作用

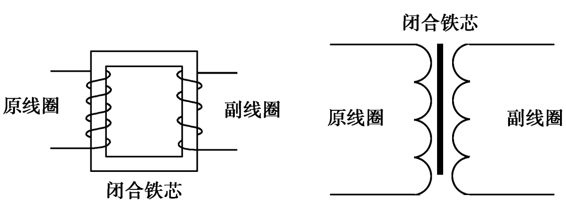
续表

	电阻	感抗	容抗
在电路中的作用特点	对直流电、交流电均有阻碍作用	只对变化的电流(如交流电)有阻碍作用。可分为:高频轭流圈,通低频阻高频;低频轭流圈,通直流阻交流	不能通恒定电流,能通变化的电流。对直流电的阻碍作用无限大,对交流电的阻碍作用随频率的降低而增大。C 较大的电容器:通交流阻直流,C 较小的电容器:通高频阻低频
决定因素	由导体本身(长短、粗细、材料)决定,与温度有关	由线圈本身的自感系数和交流电的频率决定	由电容的大小和交流电的频率决定
电能的转化与做功	电流通过电阻做功,电能转化为内能	电能和磁场能往复转化	电能与电场能往复转化

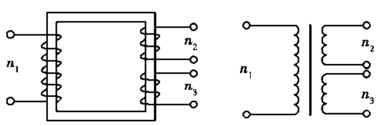
二、变压器及其原理

1.主要构造:原线圈、副线圈和闭合铁芯。

常见变压器的模型与符号如图甲、乙所示。



甲



乙

注:与电源相连的为原线圈,其余则为副线圈。

2.工作原理:根据电磁感应原理来改变交流电压。

3.理想变压器:不考虑铜损、铁损和漏磁的变压器,即它的输入功率和输出功率相等。

4.几种常用的变压器

a.自耦变压器——调压变压器。

b.互感器{电压互感器、电流互感器。

考向突破

考向一　变压器

理想变压器各量间的基本关系

理想变压器的磁通量全部集中在铁芯内,变压器没有能量损失,输入功率等于输出功率。

(1)电压跟匝数的关系:$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$。

(2)功率关系:$P_{输入}=P_{输出}$。

(3)电流跟匝数的关系:原、副线圈各有一个时,$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$。

根据以上关系有

①匝数比一定时,U_2 由 U_1 决定。

②匝数比一定时,输入电流由输出电流决定。

③输入功率由输出功率决定。

④增加负载是增加用户,总电阻减小,而增加负载电阻是总电阻增加。

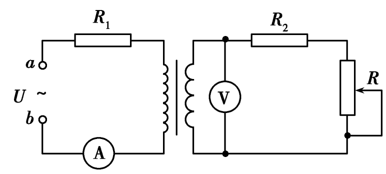
说明　原、副线圈电流和匝数成反比的关系只适用于原、副线圈各有一个的情况,一旦有多个副线圈时,反比关系就不适用了,可根据输入功率与输出功率相等的关系推导出

$U_1I_1=U_2I_2+U_3I_3+U_4I_4+\cdots$

再根据 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1, U_3=\frac{n_3}{n_1}U_1, U_4=\frac{n_4}{n_1}U_1\cdots$ 可得出

$n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+n_4I_4+\cdots$

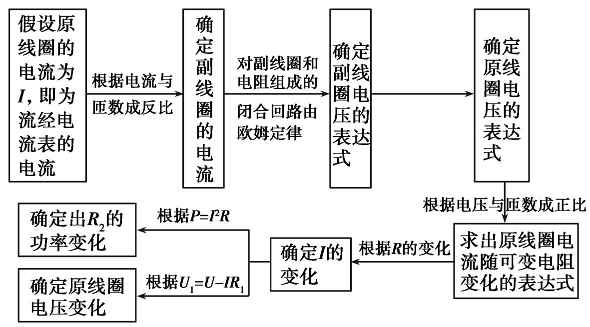
例 1　(2019 江西盟校一联,16)如图所示,理想变压器 a、b 间输入一稳定的正弦交流电,原线圈接有理想交流电流表 A,副线圈接有理想交流电压表 V,当滑动变阻器的滑片向上滑动时,下列说法正确的是　(　　)



A.电压表的示数不变　　B.电压表的示数增大

C.电流表的示数增大　　D.电阻 R_2 的功率减小

解题导引



解析　设电流表的示数为 I,理想变压器原、副线圈匝数之比为 k,则副线圈中的电流为 kI,理想变压器副线圈两端的电压为 $U_2=kI(R_2+R)$,理想变压器原线圈两端的电压为 $U_1=U-IR_1$,理想变压器原、副线圈两端电压之比为$\frac{U_1}{U_2}=\frac{U-IR_1}{kI(R_2+R)}=k$,解得 $I=\frac{U}{k^2(R_2+R)+R_1}$,当滑动变阻器的滑片 P 向上滑动时,滑动变阻器接入电路的电阻减小,电流表的示数为 I 增大,理想变压器原线圈两端的电压为 $U_1=U-IR_1$ 减小,理想变压器副线圈两端的电压减小,故电压表的示数减小,电阻 R_2 的功率 $P_2=(kI)^2R_2$ 增大,故 C 正确,A、B、D 错误。故选 C。

答案　C

考向二　电能的输送

1.高压输电原因

为减少输电线路上的电能损失,常采用高压输电,这是因为输送功率一定时,线路电流 $I=\frac{P}{U}$,输电线上损失的功率 $P_{损}=I^2R_{线}=\frac{P^2R_{线}}{U^2}$,可知 $P_{损}\propto\frac{1}{U^2}$。

2.“线损”中 U 的含义

输电线上的功率损失 $P_{损}=UI$、$P_{损}=\left(\frac{P}{U}\right)^2R$、$P_{损}=\frac{U^2}{R}$ 中的“U”是指同一电压吗?

a.$P_{损}=UI$、$P_{损}=\dfrac{U^2}{R}$中,U是指输电线上损失的电压,相当于ΔU或$U_{线}$,所以此公式可写为$P_{损}=\Delta UI=U_{线}I$、$P_{损}=\dfrac{(\Delta U)^2}{R}=\dfrac{U_{线}^2}{R}$。

b.$P_{损}=\left(\dfrac{P}{U}\right)^2R$,$U$是指输送的总电压,即从发电站发出后,经过变压器升高后的电压。

c.注意三个公式中U的不同,切记不要混淆。

3.输电过程的电压关系

$U_{出}=U_{损}+U_{用}$

- $U_{损}$→输电线损失电压
- $U_{用}$→降压变压器原线圈电压
- $U_{出}$→升压变压器副线圈电压

4.输电过程功率的关系

$P_{出}=P_{损}+P_{用}$

- →$I=\dfrac{P_{出}}{U_{出}}$
- →$\begin{cases}P_{损}=I^2R_{线}\\P_{损}=\dfrac{U_{损}^2}{R_{线}}\end{cases}$

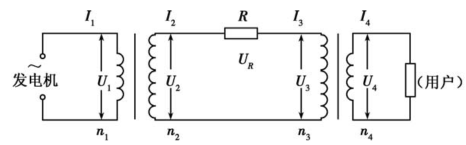
例2 发电机的端电压为220 V,输出电功率为44 kW,输电导线的电阻为0.2 Ω,如果用原、副线圈匝数之比为1∶10的升压变压器升压,经输电线路后,再用原、副线圈匝数比为10∶1的降压变压器降压供给用户。

(1)画出全过程的线路图。

(2)求用户得到的电压和功率。

(3)若不经过变压而直接送到用户,求用户得到的功率和电压。

解析 (1)全过程的线路图如图所示:



(2)升压变压器副线圈的输出电压$U_2=\dfrac{n_2}{n_1}U_1=2\ 200$ V

升压变压器副线圈的输出电流$I_2=\dfrac{n_1}{n_2}I_1$

由$P=U_1I_1$,得升压变压器原线圈的输入电流

$I_1=\dfrac{P}{U_1}=\dfrac{44\times10^3}{220}$ A$=200$ A

所以$I_2=\dfrac{n_1}{n_2}I_1=20$ A

输电线路上的电压损失为

$U_R=I_2R=4$ V

降压变压器原线圈上的输入电流和电压分别为

$I_3=I_2=20$ A,$U_3=U_2-U_R=2\ 196$ V

降压变压器副线圈的输出电压和电流分别为

$U_4=\dfrac{n_4}{n_3}U_3=219.6$ V,$I_4=\dfrac{n_3}{n_4}I_3=200$ A

用户得到的功率$P_4=U_4I_4=43.92$ kW

(3)若不采用高压输电,线路损失电压为$U_R'=I_1R=40$ V,

用户得到的电压$U'=U_1-U_R'=180$ V

用户得到的功率为$P'=U'I_1=36$ kW

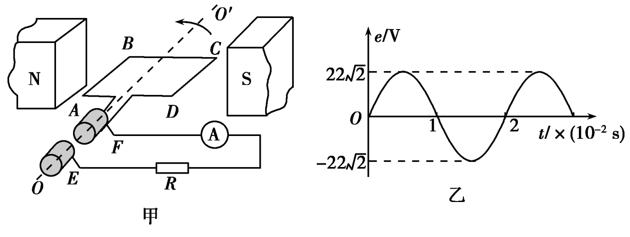
答案 见解析

考点集训

对应学生用书起始页码143

考点一 交变电流的产生及描述

1.甲图是小型交流发电机的示意图,两磁极N、S间的磁场可视为水平方向的匀强磁场,Ⓐ为理想交流电流表。线圈绕垂直于磁场的水平轴OO'沿逆时针方向匀速转动,产生的电动势随时间变化的图像如图乙所示。已知发电机线圈电阻为10 Ω,外接一只阻值为90 Ω的电阻,不计电路的其他电阻,则 ( )



A.电流表的示数为0.31 A

B.线圈转动的角速度为50π rad/s

C.0.01 s时线圈平面与磁场方向平行

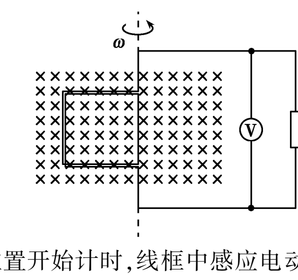
D.在线圈转动一周过程中,外电阻发热约为0.087 J

答案 D 在交流电路中电流表的示数为有效值,$E_{有效}=\dfrac{E_m}{\sqrt{2}}=22$ V,电流表的示数$I=\dfrac{E_{有效}}{R_{总}}=\dfrac{22}{100}$ A$=0.22$ A,A错误;从图像可知线圈转动的周期为0.02 s,则线圈转动的角速度$\omega=\dfrac{2\pi}{T}=100\pi$ rad/s,B错误,0.01 s时线圈的电动势为0,因此线圈在中性面处,C错误;发热量应用电流的有效值进行计算,则发热量$Q=I^2Rt=(0.22)^2\times90\times0.02\approx0.087$ J,D正确。

考查点 交流电的产生与描述

温馨提示 交流电在一个周期内的发热量可以用交流电有效值进行计算。

2.(2018东北三校联考,9)(多选)如图所示,面积为S、匝数为N、电阻为r的正方形导线框与阻值为R的电阻构成闭合回路,理想交流电压表并联在电阻R的两端。线框在磁感应强度为B的匀强磁场中,以与电路连接的一边所在直线为轴垂直于磁场以角速度ω匀速转动,不计其他电阻,则下列说法正确的是 ( )



A.若从图示位置开始计时,线框中感应电动势的瞬时值为$e=NBS\omega\sin\omega t$

B.线框通过中性面前后,流过电阻R的电流方向将发生改变,1秒钟内流过电阻R的电流方向改变$\dfrac{\omega}{\pi}$次

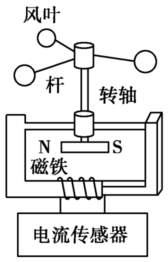
C.线框从图示位置转过60°的过程中,通过电阻R的电荷量为$\dfrac{NBS}{2(R+r)}$

D.电压表的示数跟线框转动的角速度ω大小无关

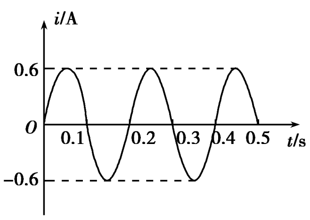
答案 ABC 从图示位置开始计时,即从线框处于中性面位置开始计时,感应电动势瞬时值$e=NBS\omega\sin\omega t$,选项A正确;线框通过中性面前后,流过电阻R的电流方向发生改变,每转

1 周电流方向改变 2 次,1 秒钟内线框转动圈数为$\frac{1}{T}=\frac{\omega}{2\pi}$,故 1 秒钟内流过电阻 R 的电流方向改变 $2\times\frac{\omega}{2\pi}=\frac{\omega}{\pi}$次,选项 B 正确;线框从图示位置转过 60°的过程中,通过电阻 R 的电荷量 $q=\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}}{R+r}\Delta t=N\frac{\Delta\Phi}{R+r}$,而 $\Delta\Phi=\frac{1}{2}BS$,故 $q=\frac{NBS}{2(R+r)}$,选项 C 正确;电压表的示数 $U=\frac{RE}{R+r}$,而 $E=\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$,故 $U\propto\omega$,选项 D 错误。

3.(**2020 届吉林长春质量监测,6**)(多选)如图甲所示为风力发电的简易模型。在风力的作用下,风叶带动与其固定在一起的磁铁转动,转速与风速成正比。若某一风速时,线圈中产生的正弦式电流如图乙所示。下列说法正确的是　(　　)



甲



乙

A.电流的表达式为 $i=0.6\sin 10\pi t$(A)

B.磁铁的转速为 10 r/s

C.风速加倍时电流的表达式为 $i=1.2\sin 10\pi t$(A)

D.风速加倍时线圈中电流的有效值为$\frac{3\sqrt{2}}{5}$ A

答案　**AD**　本题考查了交流电产生的过程,体现了科学思维中的科学推理要素。

由题图乙可知,电流的周期 $T=0.2$ s,则 $\omega=\frac{2\pi}{T}=10\pi$ rad/s,由交流电的电流表达式 $i=A\sin\omega t$(A),可知 A 正确;根据 $\omega=2\pi n$,可知转速为 5 r/s,B 错误;由于转速与风速成正比,当风速加倍时,转速也加倍,即角速度加倍,由 $I_m=\frac{E_m}{R_{总}}=\frac{NBS\omega}{R_{总}}$可知,电流的最大值也加倍,即 $I_m=1.2$ A,则电流的表达式为 $i=1.2\sin 20\pi t$(A),电流的有效值 $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=\frac{1.2}{\sqrt{2}}$ A$=\frac{3\sqrt{2}}{5}$ A,C 错误,D 正确。

考点二　变压器、电能的输送

1.(**2019 广西南宁、玉林、贵港等高三毕业班摸底,16**)如图所示,为一变压器的实物图,若将其视为理想变压器,根据其铭牌所提供的信息,以下判断正确的是　(　　)



A.副线圈的匝数比原线圈多

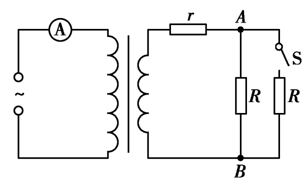
B.当原线圈输入交流电压 110 V 时,副线圈中输出交流电压 6 V

C.当原线圈输入交流电压 220 V 时,副线圈输出直流电压 12 V

D.当变压器输出为 12 V 和 3 A 时,原线圈电流为$\frac{9\sqrt{2}}{55}$ A

答案　**B**　根据铭牌可知 $U_1=220\text{ V}>U_2=12$ V,根据变压比公式:$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{220\text{ V}}{12\text{ V}}=\frac{55}{3}$,故 $n_1>n_2$,A 错误;当原线圈输入交流电压 110 V 时,根据$\frac{220\text{ V}}{12\text{ V}}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{110\text{ V}}{U_2}$,可知副线圈中输出交流电压6 V,B 正确;变压器变压后交流电频率不变,当原线圈输入交流电压 220 V 时,副线圈输出交流电压 12 V,C 错误;根据 $P_1=P_2$ 知,$I_1=\frac{U_2I_2}{U_1}=\frac{12\times3}{220}$ A$=\frac{9}{55}$ A,D 错误。

2.(**2018 江西上饶六校一联**)如图所示,一正弦交流电瞬时值表达式为 $e=220\sin 100\pi t$(V),通过一个理想电流表,接在一个理想变压器两端,变压器起到降压作用,开关 S 闭合前后,A、B 两端输出的电功率相等,以下说法正确的是　(　　)



A.流过 r 的电流方向每秒钟变化 50 次

B.变压器原线圈匝数小于副线圈匝数

C.开关从断开到闭合时,电流表示数变小

D.$R=\sqrt{2}r$

答案　**D**　由正弦交流电瞬时值表达式知交流电的频率 $f=\frac{100\pi}{2\pi}$ Hz$=50$ Hz,因变压器不改变交流电的频率,所以流过 r 的电流方向每秒钟变化 100 次,A 错误;降压变压器原线圈匝数大于副线圈匝数,B 错误;开关从断开到闭合时,副线圈回路总电阻减小,副线圈两端电压不变,所以副线圈回路中电流增大,再根据 $I_1U_1=I_2U_2$ 知原线圈电流即电流表示数变大,C 错误;开关闭合前,A、B 两端输出的电功率为 $P_{AB}=\left(\frac{U_2}{R+r}\right)^2R$,开关闭合后,$A$、$B$ 两端输出的电功率为 $P_{AB}'=\left(\frac{U_2}{r+\frac{R}{2}}\right)^2\frac{R}{2}=\frac{U_2^2}{(R+2r)^2}\cdot 2R$,又开关闭合前后,$A$、$B$ 两端输出功率相等,则有 $P_{AB}=P_{AB}'$,解得 $R=\sqrt{2}r$,D 正确。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

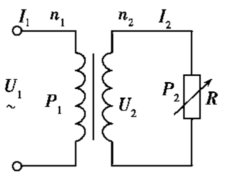
方法技巧

对应学生用书起始页码144

方法　理想变压器的动态分析

理想变压器的几个因果关系。

当理想变压器原副线圈的匝数比不变时,如图所示,各量相互关系如下:



(1)输入电压 U_1 决定输出电压 U_2。这是因为输出电压 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$,当 U_1 不变时,不论负载电阻 R 变化与否,U_2 都不会改变。

(2)输出电流 I_2 决定输入电流 I_1,在输入电压 U_1 一定的情况下,输出电压 U_2 也被确定。当负载电阻 R 增大时,I_2 减小,则 I_1 相应减小;当负载电阻 R 减小时,I_2 增大,则 I_1 相应增大。因此在使用变压器时,不能使变压器副线圈短路。

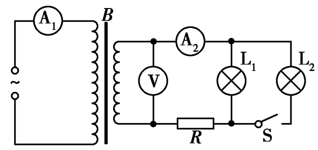
(3)输出功率 P_2 决定输入功率 P_1,理想变压器的输入功率与输出功率相等,即 $P_1=P_2$。在输入电压 U_1 一定的情况下,当负载电阻 R 增大时,I_2 减小,则变压器输出功率 $P_2=I_2U_2$ 减小,输入功率 P_1 也将相应减小;当负载电阻 R 减小时,I_2 增大,变压器的输出功率 $P_2=I_2U_2$ 增大,则输入功率 P_1 也将增大。

利用上述因果关系,可解决变压器动态变化问题。

注意　①变压器只能改变交流电压,若原线圈加直流电压,则副线圈输出电压为零,并且由于线圈对直流电无感抗,而使电流很大(相当于短路)易损坏直流电源。

②对"日"字形铁芯的变压器 $\frac{U_1}{U_2}\neq\frac{n_1}{n_2}$,因为穿过原副线圈的磁通量的变化率不等。

例　图中 B 为理想变压器,接在交变电压有效值保持不变的电源上。指示灯 L_1 和 L_2 完全相同(其阻值均恒定不变),R 是一个定值电阻,电压表、电流表都为理想电表。开始时开关 S 是闭合的,当 S 断开后,下列说法正确的是　(　　)



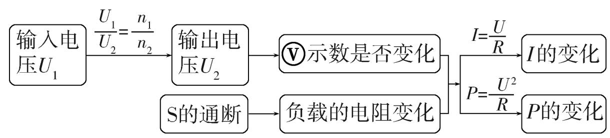
A.电流表 A_2 的示数变大

B.电压表的示数变大

C.电流表 A_1 的示数变小

D.灯 L_1 的亮度变暗

解题导引



解析　变压器输出电压由输入电压和匝数比决定,S 断开后输入电压和匝数比不变,所以电压表的示数不变;但负载电阻变大,则输出电流变小,A_2 的示数变小,输入电流变小,则 A_1 的示数变小;因 R 上电压变小,则 L_1 上电压变大,亮度变亮。故只有 C 对。

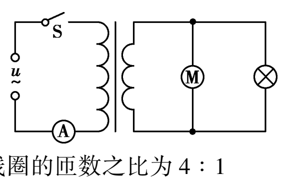
答案　C

方法集训

对应学生用书起始页码144

方法　理想变压器的动态分析

1.(多选)如图所示,理想变压器的副线圈接有规格为"44 V 44 W"的灯泡和线圈电阻为 $r=1\ \Omega$ 的电动机Ⓜ,原线圈上接有 $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V)的正弦交流电压,此时灯泡和电动机都正常工作,且原线圈中的理想交流电流表示数为 1 A,不考虑灯泡电阻变化和电动机内阻变化,则下列说法正确的是　(　　)



A.变压器原、副线圈的匝数之比为 4∶1

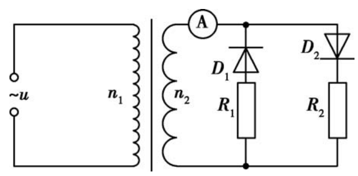
B.电动机的输出功率为 176 W

C.电动机的热功率为 16 W

D.若电动机被卡住,灯泡仍正常发光,则电流表示数将变为 9 A,此时应立即切断电源

答案　CD　原线圈电压有效值为 $U_1=220$ V,灯泡正常工作,故副线圈电压有效值 $U_2=44$ V,原、副线圈的匝数比 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}=5$,选项 A 错误;根据 $U_1I_1=U_2I_2$,得副线圈电流有效值 $I_2=5$ A,流过灯泡的电流 $I_L=\frac{P_L}{U_2}=1$ A,则通过电动机的电流 $I_M=I_2-I_L=4$ A,电动机输入功率 $P_入=U_2I_M=176$ W,电动机的热功率 $P_热=I_M^2r=16$ W,输出功率为 $P=P_入-P_热=160$ W,故选项 C 正确,B 错误;若电动机被卡住,灯泡仍正常发光,则通过电动机的电流变为 $I_M'=\frac{U_2}{r}=44$ A,副线圈中电流变为 $I_2'=I_M'+I_L=45$ A,原线圈中电流变为 $I_1'=\frac{n_2}{n_1}I_2'=9$ A,电路中消耗的功率增大,此时应立即切断电源,选项 D 正确。

2.如图所示的电路中,理想变压器原、副线圈的匝数比 $n_1:n_2=11:1$,原线圈接 $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V)的交流电,电阻 $R_1=2R_2=10\ \Omega$,D_1、D_2 均为理想二极管(正向电阻为零,反向电阻为无穷大),则副线圈电路中理想交流电流表的读数为(　　)



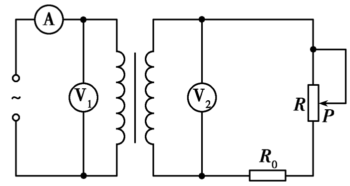
A.3 A　　B.$2\sqrt{5}$ A　　C.$\sqrt{10}$ A　　D.$\sqrt{3}$ A

答案　A　由表达式知原线圈电压有效值为 220 V，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，得副线圈两端的电压为 $U_2=U_1\frac{n_2}{n_1}=220\times\frac{1}{11}$ V = 20 V，因为二极管具有单向导电性，电阻 R_1、R_2 中半个周期有电流，半个周期电流为 0，$I_1=\frac{U_2}{R_1}=2$ A，$I_2=\frac{U_2}{R_2}=4$ A；根据电流的热效应有：$U_2IT=I_1^2R_1\frac{T}{2}+I_2^2R_2\frac{T}{2}$，解得 $I=3$ A，即电流表的读数为 3 A，故选 A。

考查点　变压器

温馨提示　根据原线圈所接交流电瞬时值表达式可以求得输出电压的有效值、周期和频率等，再根据原副线圈电压与匝数成正比和二极管的特点即可求得电流，根据电流热效应求得电流表的读数。

3.如图所示为一理想变压器，原线圈接在一输出电压为 $u=U_0\sin\omega t$的交流电源两端。电路中 R_0 为定值电阻，V_1、V_2 为理想交流电压表，A 为理想交流电流表，导线电阻不计。现使滑动变阻器 R 的滑动触头 P 向上滑动，则下列说法中正确的是　　(　　)



A.A 的示数不变　　B.V_2 的示数变小

C.R 消耗的功率变大　　D.R_0 消耗的功率变小

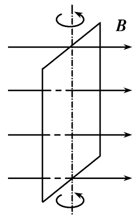
答案　D　本题考查变压器的动态分析，体现了科学思维中科学论证要素。

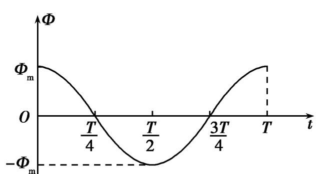
滑片向上滑动过程中，变阻器连入电路的电阻变大，输入电压及匝数比不变，输出电压不变，即电压表 V_2 读数不变，副线圈中电流减小，则根据 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$可知，原线圈中电流减小，电流表示数减小，选项 A、B 错误；副线圈中电流减小，则 R_0 消耗的功率变小，选项 D 正确；可以将 R_0 看做是电源的内电阻，当滑动变阻器的阻值与 R_0 相等时，滑动变阻器消耗的功率最大，由于不知道 R 和 R_0 的关系，所以无法知道 R 消耗的功率的变化，C 错误。

5年高考 2015-2019　对应学生用书起始页码 266

A 组　基础题组

1.(2019 天津理综,8,6 分)(多选)单匝闭合矩形线框电阻为 R，在匀强磁场中绕与磁感线垂直的轴匀速转动，穿过线框的磁通量 Φ 与时间 t 的关系图像如图所示。下列说法正确的是　　(　　)





A.$\frac{T}{2}$时刻线框平面与中性面垂直

B.线框的感应电动势有效值为$\frac{\sqrt{2}\pi\Phi_m}{T}$

C.线框转一周外力所做的功为$\frac{2\pi^2\Phi_m^2}{RT}$

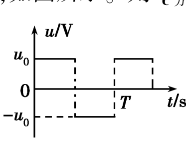
D.从 $t=0$ 到 $t=\frac{T}{4}$过程中线框的平均感应电动势为$\frac{\pi\Phi_m}{T}$

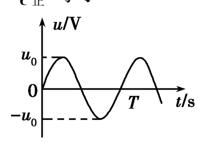
答案　BC　本题考查了交变电流的产生和描述，以及考生对交流电产生过程、有效值的确定、平均感应电动势及安培力做功的分析和判断能力，是核心素养中能量观念的体现。

由 Φ-t 图像可知，在$\frac{T}{2}$时刻穿过线框的磁通量最大，线框处于中性面位置，选项 A 错误；交变电流感应电动势的最大值为 $E_m=BS\omega=\frac{2\pi\Phi_m}{T}$，有效值 $E=\frac{\sqrt{2}}{2}E_m=\frac{\sqrt{2}\pi\Phi_m}{T}$，选项 B 正确；线框匀速转一周时外力所做的功等于克服安培力所做的功，$W=\frac{E^2}{R}T=\frac{2\pi^2\Phi_m^2}{RT}$，选项 C 正确；从 $t=0$ 到 $t=\frac{T}{4}$的过程中平均感应电动势 $\overline{E}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{BS-0}{\frac{T}{4}}=\frac{4\Phi_m}{T}$，选项 D 错误。

审题指导　①感应电动势最大值表达式中的 BS 即磁通量的最大值，虽然题中没有给出 B、S，但可以从图像中获取相关的数据信息 Φ_m，从而求得感应电动势的最大值；②线框匀速转动是确定外力做功的关键。

2.(2018 课标Ⅲ,16,6 分)一电阻接到方波交流电源上，在一个周期内产生的热量为 $Q_方$；若该电阻接到正弦交流电源上，在一个周期内产生的热量为 $Q_正$。该电阻上电压的峰值均为 u_0，周期均为 T，如图所示。则 $Q_方:Q_正$ 等于　　(　　)



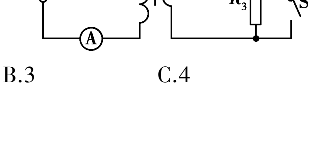


A.1∶$\sqrt{2}$　　B.$\sqrt{2}$∶1　　C.1∶2　　D.2∶1

答案　D　本题考查交变电流的有效值及焦耳定律。根据交变电流有效值的定义及焦耳定律可得，$Q_方=\frac{u_0^2}{R}\cdot\frac{T}{2}+\frac{u_0^2}{R}\cdot\frac{T}{2}=\frac{u_0^2}{R}T$，$Q_正=\frac{(u_0/\sqrt{2})^2}{R}T=\frac{1}{2}\cdot\frac{u_0^2}{R}T$，故$\frac{Q_方}{Q_正}=\frac{2}{1}$，选项 D 正确。

易错点拨　正弦式交变电流的有效值是其峰值的$\frac{1}{\sqrt{2}}$，其他交流电的有效值和峰值间一般不存在该关系。

3.(2016 课标Ⅰ,16,6 分)一含有理想变压器的电路如图所示，图中电阻 R_1、R_2 和 R_3 的阻值分别为 3 Ω、1 Ω 和 4 Ω，Ⓐ为理想交流电流表，U 为正弦交流电压源，输出电压的有效值恒定。当开关 S 断开时，电流表的示数为 I；当 S 闭合时，电流表的示数为 $4I$。该变压器原、副线圈匝数比为　　(　　)



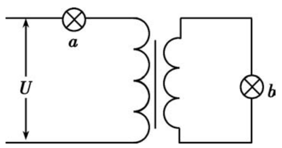
A.2　　B.3　　C.4　　D.5

答案 B 设原、副线圈匝数比为 n，根据能量守恒，当 S 断开时，$UI=I^2R_1+(nI)^2(R_2+R_3)$；当 S 闭合时，$4UI=(4I)^2R_1+(4nI)^2R_2$，联立解得 $n=3$，所以 B 正确。

误区警示 变压器原线圈上串联电阻之后，属于非纯电阻电路，不能在含有线圈的电路中应用欧姆定律。要计算原线圈上消耗的功率，只要计算出副线圈电阻上消耗的功率即可。

评析 本题考查变压器的基本关系，要求掌握两点：一是电流与匝数的关系；二是能量守恒定律的应用。

4.(2016 课标Ⅲ,19,6 分)(多选)如图，理想变压器原、副线圈分别接有额定电压相同的灯泡 a 和 b。当输入电压 U 为灯泡额定电压的 10 倍时，两灯均能正常发光，下列说法正确的是 ( )



A.原、副线圈匝数比为 9∶1

B.原、副线圈匝数比为 1∶9

C.此时 a 和 b 的电功率之比为 9∶1

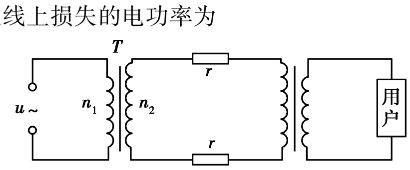
D.此时 a 和 b 的电功率之比为 1∶9

答案 AD 由题意知 $U=10U_灯$，a、b 均正常发光，则变压器输入电压 $U_1=9U_灯$，而输出电压 $U_2=U_灯$，所以原、副线圈匝数比 $n_1∶n_2=U_1∶U_2=9∶1$；而 $I_1∶I_2=n_2∶n_1=1∶9$，所以两灯功率之比 $P_a∶P_b=U_灯I_1∶U_灯I_2=1∶9$，选项 A、D 正确。

审题指导 两灯均正常发光，$U_a=U_b=U_灯$，$U=U_a+U_1=10U_灯$，则 $U_1=9U_灯$。

评析 本题考查变压器原、副线圈的电压关系和电流关系等知识，难度为易，弄清变压器输入电压 U_1 与 $U_灯$ 的关系是解决本题的关键。

5.(2015 福建理综,15,6 分)图为远距离输电示意图，两变压器均为理想变压器，升压变压器 T 的原、副线圈匝数分别为 n_1、n_2，在 T 的原线圈两端接入一电压 $u=U_m\sin\omega t$ 的交流电源，若输送电功率为 P，输电线的总电阻为 $2r$，不考虑其他因素的影响，则输电线上损失的电功率为 ( )

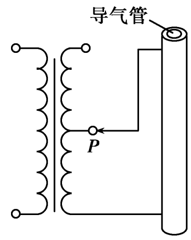


A.$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)\frac{U_m^2}{4r}$　　B.$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)\frac{U_m^2}{4r}$

C.$4\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\frac{P}{U_m}\right)^2r$　　D.$4\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\left(\frac{P}{U_m}\right)^2r$

答案 C T 的输入电压 $U_1=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$，则 $P=U_1I_1$，$I_1=\frac{P}{U_1}=\frac{\sqrt{2}P}{U_m}$，又因为 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，所以 $I_2=\frac{n_1}{n_2}I_1=\sqrt{2}\frac{n_1P}{n_2U_m}$，则输电线上损失的电功率 $P_损=I_2^2\cdot 2r=4\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\frac{P}{U_m}\right)^2r$，C 项正确。

6.(2015 广东理综,15,4 分)图为气流加热装置的示意图，使用电阻丝加热导气管，视变压器为理想变压器，原线圈接入电压有效值恒定的交流电并保持匝数不变，调节触头 P，使输出电压有效值由 220 V 降至 110 V。调节前后 ( )



A.副线圈中的电流比为 1∶2

B.副线圈输出功率比为 2∶1

C.副线圈的接入匝数比为 2∶1

D.原线圈输入功率比为 1∶2

答案 C 电阻丝的阻值 R 可认为不变，由欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$ 可知副线圈中的电流取决于副线圈的输出电压，故调节前后副线圈中电流之比为 2∶1，A 错误；再由 $P_2=I_2U_2$ 或 $P_2=\frac{U_2^2}{R}$ 可知副线圈的输出功率之比应为 4∶1，B 错误；而理想变压器输入功率总是等于输出功率，故原线圈的输入功率之比也为 4∶1，D 错误；因原线圈的输入电压 U_1、匝数 n_1 恒定，故由电压关系 $\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}$ 可知副线圈的接入匝数比为 2∶1，C 正确。

B组 提升题组

1.(2019 江苏单科,1,3 分)某理想变压器原、副线圈的匝数之比为 1∶10，当输入电压增加 20 V 时，输出电压 ( )

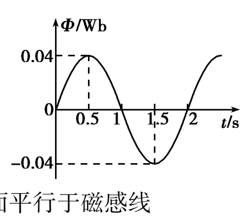
A.降低 2 V　　B.增加 2 V

C.降低 200 V　　D.增加 200 V

答案 D 本题考查变压器原理内容，有利于培养学生理解能力。

依据理想变压器原、副线圈的电压比与匝数比关系公式可知，$\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，则 $\Delta U_2=\frac{n_2}{n_1}\Delta U_1$，得 $\Delta U_2=200$ V，故选项 D 正确。

2.(2017 天津理综,6,6 分)(多选)在匀强磁场中，一个 100 匝的闭合矩形金属线圈，绕与磁感线垂直的固定轴匀速转动，穿过该线圈的磁通量随时间按图示正弦规律变化。设线圈总电阻为 2 Ω，则 ( )



A.$t=0$ 时，线圈平面平行于磁感线

B.$t=1$ s 时，线圈中的电流改变方向

C.$t=1.5$ s 时，线圈中的感应电动势最大

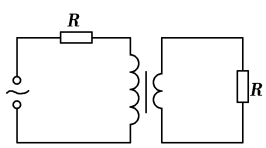
D.一个周期内，线圈产生的热量为 $8\pi^2$ J

答案 AD 本题考查正弦交流电的产生、有效值，焦耳热。由 $\Phi-t$ 图可知，$t=0$ 时，$\Phi=0$，则线圈平面平行于磁感线，选项 A 正确；$t=1$ s 时 $\Phi=0$，此时电动势最大，$t=0.5$ s 和 $t=1.5$ s 时，Φ 最大，此时电动势为 0，电流改变方向，选项 B、C 错误；交

流电电动势的最大值 $E_m=nBS\omega=n\Phi_m\dfrac{2\pi}{T}=4\pi$ V，有效值 $E=\dfrac{\sqrt{2}}{2}E_m=2\sqrt{2}\pi$ V，一个周期内线圈产生的热量 $Q=\dfrac{E^2}{R}\cdot T=8\pi^2$ J，D 正确。

疑难突破　①由 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 知 Φ 随时间按正弦规律变化，则 E 随时间按余弦规律变化。②电流改变方向的时刻在 $E=0$ 时刻，即 Φ 最大时刻。③计算电流产生的焦耳热应使用电动势的有效值。

3.(2015 课标Ⅰ,16,6 分) 一理想变压器的原、副线圈的匝数比为 3∶1，在原、副线圈的回路中分别接有阻值相同的电阻，原线圈一侧接在电压为 220 V 的正弦交流电源上，如图所示。设副线圈回路中电阻两端的电压为 U，原、副线圈回路中电阻消耗的功率的比值为 k，则　(　　)



A. $U=66$ V，$k=\dfrac{1}{9}$　　B. $U=22$ V，$k=\dfrac{1}{9}$

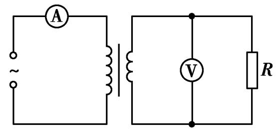
C. $U=66$ V，$k=\dfrac{1}{3}$　　D. $U=22$ V，$k=\dfrac{1}{3}$

答案　**A**　设原线圈中电流为 I，由 $\dfrac{I_1}{I_2}=\dfrac{n_2}{n_1}$ 知副线圈中的电流 $I_2=3I$，由题意知副线圈中电阻两端的电压 $U=3IR$，则原线圈回路中 R 两端的电压 $U_R=IR=\dfrac{U}{3}$，原线圈两端的电压 $U_1=3U$，由闭合电路中电压关系可知 $U_1+U_R=220$ V，即 $\dfrac{U}{3}+3U=220$ V，$U=66$ V，原线圈回路中电阻消耗的功率 $P_1=I^2R$，副线圈回路中电阻消耗的功率 $P_2=(3I)^2R$，$\dfrac{P_1}{P_2}=k=\dfrac{I^2R}{(3I)^2R}=\dfrac{1}{9}$，选项 A 正确。

解题指导　①理想变压器：$U_1:U_2=n_1:n_2$，$I_1:I_2=n_2:n_1$。②原线圈回路 $U_R+U_1=220$ V。

评析　此题为常见题型，但原线圈回路加一电阻，使试题难度大为增加。

4.(2018 天津理综,4,6 分) 教学用发电机能够产生正弦式交变电流。利用该发电机(内阻可忽略)通过理想变压器向定值电阻 R 供电，电路如图所示，理想交流电流表 A、理想交流电压表 V 的读数分别为 I、U，R 消耗的功率为 P。若发电机线圈的转速变为原来的 $\dfrac{1}{2}$，则　(　　)



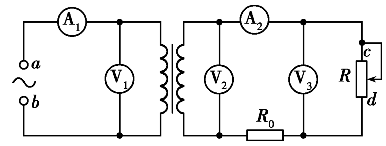
A. R 消耗的功率变为 $\dfrac{1}{2}P$　　B. 电压表 V 的读数变为 $\dfrac{1}{2}U$

C. 电流表 A 的读数变为 $2I$　　D. 通过 R 的交变电流频率不变

答案　**B**　本题考查正弦交流电的产生原理、理想变压器。由正弦交流电的产生原理可知，其电动势的最大值 $E_m=NBS\omega$，而 $\omega=2\pi n$，有效值 $E=\dfrac{\sqrt{2}}{2}E_m$，线圈转速变为原来的 $\dfrac{1}{2}$，则 $U_1=E$ 变为原来的 $\dfrac{1}{2}$。由 $\dfrac{U_1}{U_2}=\dfrac{n_1}{n_2}$ 知 U_2 变为原来的 $\dfrac{1}{2}$，电压表读数变为原来的 $\dfrac{1}{2}$，选项 B 正确；R 消耗的功率 $P=\dfrac{U_2^2}{R}$，故 R 消耗的功率变为原来的 $\dfrac{1}{4}$，选项 A 错误；由 $P_入=P_出$ 得，$U_1I_1=\dfrac{U_2^2}{R}$，故 I_1 变为原来的 $\dfrac{1}{2}$，即电流表读数变为原来的 $\dfrac{1}{2}$，选项 C 错误；变压器不改变交变电流的频率，故通过 R 的交变电流频率变为原来的 $\dfrac{1}{2}$，选项 D 错误。

解题关键　正弦交流电的最大值与转速的关系，理想变压器的电流、电压及功率的决定关系，是解答此题的关键。

5.(2015 安徽理综,16,6 分) 图示电路中，变压器为理想变压器，a、b 接在电压有效值不变的交流电源两端，R_0 为定值电阻，R 为滑动变阻器。现将变阻器的滑片从一个位置滑动到另一位置，观察到电流表 A_1 的示数增大了 0.2 A，电流表 A_2 的示数增大了 0.8 A，则下列说法正确的是　(　　)



A. 电压表 V_1 示数增大

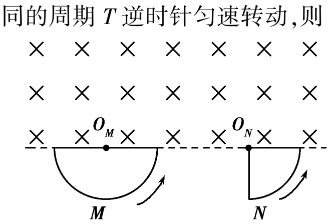
B. 电压表 V_2、V_3 示数均增大

C. 该变压器起升压作用

D. 变阻器滑片是沿 $c\to d$ 的方向滑动

答案　**D**　变压器输入电压不变，原、副线圈的匝数比不变，故原、副线圈两端的电压不变，即电压表 V_1、V_2 示数不变，选项 A、B 均错误；I_1、I_2 增加，则副线圈电路中总电阻减小，故变阻器滑片应沿 $c\to d$ 方向滑动，选项 D 正确；由原线圈的输入功率等于副线圈的输出功率 $P_入=P_出$ 知，调节滑动变阻器前 $I_1n_1=I_2n_2$，调节滑动变阻器后 $I_1'n_1=I_2'n_2$，联立得 $(I_1'-I_1)n_1=(I_2'-I_2)n_2$，即 $\Delta I_1n_1=\Delta I_2n_2$，$\dfrac{n_1}{n_2}=\dfrac{\Delta I_2}{\Delta I_1}=\dfrac{0.8}{0.2}=4$，故该变压器起降压作用，选项 C 错误。

6.(2016 课标Ⅲ,21,6 分)(多选)如图，M 为半圆形导线框，圆心为 O_M；N 是圆心角为直角的扇形导线框，圆心为 O_N；两导线框在同一竖直面(纸面)内；两圆弧半径相等；过直线 O_MO_N 的水平面上方有一匀强磁场，磁场方向垂直于纸面。现使线框 M、N 在 $t=0$ 时从图示位置开始，分别绕垂直于纸面且过 O_M 和 O_N 的轴，以相同的周期 T 逆时针匀速转动，则　(　　)



A. 两导线框中均会产生正弦交流电

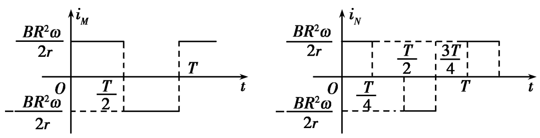
B. 两导线框中感应电流的周期都等于 T

C. 在 $t=\dfrac{T}{8}$ 时，两导线框中产生的感应电动势相等

D. 两导线框的电阻相等时，两导线框中感应电流的有效值也相等

答案　**BC**　本题中导线框的半径旋转切割磁感线时产生大小不变的感应电流，故 A 项错误；两导线框产生的感应电流的

周期与线框转动周期相同,B项正确;在 $t=\dfrac{T}{8}$ 时,两导线框切割磁感线的导线长度相同,且切割速度大小相等,故产生的感应电动势相等,均为 $E=\dfrac{1}{2}BR^2\omega$,C项正确;两导线框中感应电流随时间变化的图像如图所示,故两导线框中感应电流的有效值不相等,D项错误。

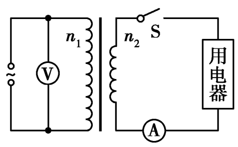


疑难突破 设 M 导线框中的电流有效值为 I_M,则 $I_M^2rT=2\left(\dfrac{BR^2\omega}{2r}\right)^2\cdot r\cdot\dfrac{T}{2}$,得 $I_M=\dfrac{BR^2\omega}{2r}$;设 N 导线框中电流有效值为 I_N,则 $I_N^2rT=2\left(\dfrac{BR^2\omega}{2r}\right)^2\cdot r\cdot\dfrac{T}{4}$,得 $I_N=\dfrac{\sqrt{2}BR^2\omega}{4r}$,故 $I_M=\sqrt{2}I_N$。

评析 本题考查感应电动势及其相关知识,通过比较的方式对交流电的产生、感应电动势的产生及有效值等知识进行考查,难度中等,考生需要对导线框转动过程进行细致周全的分析,能力要求较高。

C组 教师专用题组

1.(2014山东理综,17,6分)(多选)如图,将额定电压为60 V的用电器,通过一理想变压器接在正弦交变电源上。闭合开关S后,用电器正常工作,交流电压表和交流电流表(均为理想电表)的示数分别为220 V和2.2 A。以下判断正确的是 ( )



A.变压器输入功率为484 W
B.通过原线圈的电流的有效值为0.6 A
C.通过副线圈的电流的最大值为2.2 A
D.变压器原、副线圈匝数比 $n_1:n_2=11:3$

答案 BD 对于理想变压器,$P_{入}=P_{出}$,所以输入功率 $P_{入}=60\times2.2\ \text{W}=132\ \text{W}$,A错。$I_1=\dfrac{P_{入}}{U_1}=\dfrac{132}{220}\ \text{A}=0.6\ \text{A}$,B正确。通过副线圈的电流的最大值 $I_{2m}=\sqrt{2}I_2=2.2\sqrt{2}\ \text{A}$,C错误。变压器原、副线圈匝数比 $n_1:n_2=U_1:U_2=11:3$,D正确。

2.(2018江苏单科,2,3分)采用220 kV高压向远方的城市输电。当输送功率一定时,为使输电线上损耗的功率减小为原来的 $\dfrac{1}{4}$,输电电压应变为 ( )

A.55 kV B.110 kV C.440 kV D.880 kV

答案 C 本题考查电能的输送。由 $P_{送}=U_{送}\cdot I_{线}$ 和 $P_{损}=I_{线}^2\cdot R_{线}$ 得,$P_{损}=\left(\dfrac{P_{送}}{U_{送}}\right)^2\cdot R_{线}$。因为 $P_{送}$ 和 $R_{线}$ 一定,要使 $P_{损}'=\dfrac{1}{4}P_{损}$,结合上式得,$U_{送}'=2U_{送}=440\ \text{kV}$,C项正确。

规律总结 输电线路功率损失的计算方法

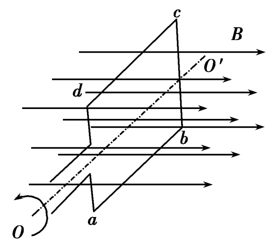
(1)$P_{损}=P_{送}-P'$,$P_{送}$ 为输送的功率,P' 为用户得到的功率。

(2)$P_{损}=I_{线}^2R_{线}$,$I_{线}$ 为输电线路上的电流,$R_{线}$ 为输电线电阻。

(3)$P_{损}=\dfrac{(\Delta U)^2}{R_{线}}$,$\Delta U$ 为输电线路上损失的电压,$R_{线}$ 为输电线电阻。

(4)$P_{损}=\Delta UI_{线}$,ΔU 为输电线路上损失的电压,$I_{线}$ 为输电线路上的电流。

3.(2015四川理综,4,6分)小型手摇发电机线圈共 N 匝,每匝可简化为矩形线圈 $abcd$,磁极间的磁场视为匀强磁场,方向垂直于线圈中心轴 OO',线圈绕 OO' 匀速转动,如图所示。矩形线圈 ab 边和 cd 边产生的感应电动势的最大值都为 e_0,不计线圈电阻,则发电机输出电压 ( )

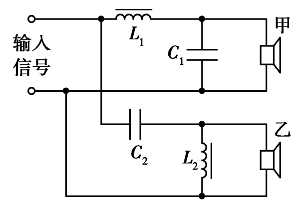


A.峰值是 e_0　　B.峰值是 $2e_0$

C.有效值是 $\dfrac{\sqrt{2}}{2}Ne_0$　　D.有效值是 $\sqrt{2}Ne_0$

答案 D 发电机输出电压峰值是 $2Ne_0$,A、B错误;有效值是 $\dfrac{\sqrt{2}}{2}\cdot2Ne_0=\sqrt{2}Ne_0$,C错误,D正确。

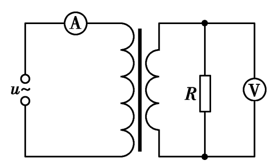
4.(2017江苏单科,7,4分)(多选)某音响电路的简化电路图如图所示,输入信号既有高频成分,也有低频成分,则 ( )



A.电感 L_1 的作用是通高频
B.电容 C_2 的作用是通高频
C.扬声器甲用于输出高频成分
D.扬声器乙用于输出高频成分

答案 BD 电感线圈具有"阻高频通低频"的特性,电容器具有"通交流隔直流""通高频阻低频"的特性,当输入端既有高频成分,也有低频成分时,低频成分通过电感 L_1,到达扬声器甲,高频成分通过电容 C_2,到达扬声器乙,选项B、D正确。

5.(2017北京理综,16,6分)如图所示,理想变压器的原线圈接在 $u=220\sqrt{2}\sin100\pi t$(V)的交流电源上,副线圈接有 $R=55\ \Omega$ 的负载电阻,原、副线圈匝数之比为2∶1,电流表、电压表均为理想电表。下列说法正确的是 ( )



A.原线圈的输入功率为 $220\sqrt{2}$ W
B.电流表的读数为1 A
C.电压表的读数为 $110\sqrt{2}$ V
D.副线圈输出交流电的周期为50 s

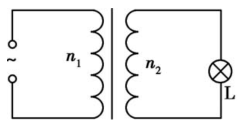
答案　B　本题考查交变电流、变压器。由题知，变压器的输入电压 $U_1=\frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}$ V = 220 V，所以 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=110$ V；副线圈电流 $I_2=\frac{U_2}{R}=2$ A，原线圈电流 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2=1$ A。本题中电压表、电流表的读数为有效值，故 B 项正确，C 项错误；原线圈输入功率 $P_1=U_1I_1=220$ W，A 项错误；交流电的周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{100\pi}$ s = 0.02 s，D 项错误。

易错点拨　交流电的最大值与有效值

1.在正弦交流电中，$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$。

2.在交流电路中，电表的读数为有效值。

6.（2016 四川理综，2，6 分）如图所示，接在家庭电路上的理想降压变压器给小灯泡 L 供电，如果将原、副线圈减少相同匝数，其他条件不变，则（　　）



A.小灯泡变亮

B.小灯泡变暗

C.原、副线圈两端电压的比值不变

D.通过原、副线圈电流的比值不变

答案　B　由 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 得 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$　①

由 $\frac{U_1}{U_2'}=\frac{n_1-\Delta n}{n_2-\Delta n}$ 得

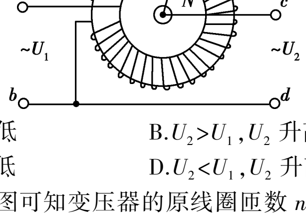
$U_2'=\frac{n_2-\Delta n}{n_1-\Delta n}U_1$　②

由②/①得：$\frac{U_2'}{U_2}=\frac{(n_2-\Delta n)n_1}{(n_1-\Delta n)n_2}=\frac{n_2n_1-\Delta nn_1}{n_2n_1-\Delta nn_2}$，因为 $n_2<n_1$，所以 $\frac{U_2'}{U_2}<1$，即 $U_2'<U_2$，故小灯泡变暗，B 正确，A 错。由以上分析过程可以看出，C 错。由 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 和 $\frac{I_1'}{I_2'}=\frac{n_2-\Delta n}{n_1-\Delta n}$ 可见，D 错。

疑难突破　①审题要细心。原、副线圈减少相同匝数，不是减少相同的倍数。②比较两个代数式的大小，有"做差"和"做商"两种思路，要视代数式的特征而定。

评析　本题考查变压器的基本关系式，各选项设置巧妙，很容易使粗心的考生掉入出题人设置的陷阱。另外，本题还考查了应用数学知识解决物理问题的能力，使靠猜答案的考生很难猜对。属于中等难度题。

7.（2016 江苏单科，4，6 分）一自耦变压器如图所示，环形铁芯上只绕有一个线圈，将其接在 a、b 间作为原线圈。通过滑动触头取该线圈的一部分，接在 c、d 间作为副线圈。在 a、b 间输入电压为 U_1 的交变电流时，c、d 间的输出电压为 U_2。在将滑动触头从 M 点顺时针旋转到 N 点的过程中（　　）



A.$U_2>U_1$，U_2 降低　　B.$U_2>U_1$，U_2 升高

C.$U_2<U_1$，U_2 降低　　D.$U_2<U_1$，U_2 升高

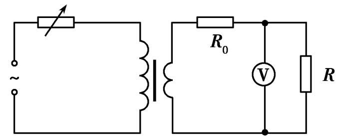
答案　C　由图可知变压器的原线圈匝数 n_1 大于副线圈匝数 n_2，因 $\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}$，则 $U_2<U_1$；在将滑动触头从 M 点顺时针转到 N 点的过程中，n_2 减小，U_2 降低，选项 C 正确，选项 A、B、D 错误。

8.（2015 江苏单科，1，3 分）一电器中的变压器可视为理想变压器，它将 220 V 交变电流改变为 110 V。已知变压器原线圈匝数为 800，则副线圈匝数为（　　）

A.200　　B.400　　C.1 600　　D.3 200

答案　B　由理想变压器的变压比等于匝数比，即 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，解得 $n_2=\frac{U_2}{U_1}n_1=400$，选项 B 正确。

9.（2015 海南单科，10，5 分）（多选）如图，一理想变压器原、副线圈匝数之比为 4∶1，原线圈与一可变电阻串联后，接入一正弦交流电源；副线圈电路中固定电阻的阻值为 R_0，负载电阻的阻值 $R=11R_0$，Ⓥ是理想电压表。现将负载电阻的阻值减小为 $R=5R_0$，保持变压器输入电流不变，此时电压表的读数为 5.0 V，则（　　）



A.此时原线圈两端电压的最大值约为 34 V

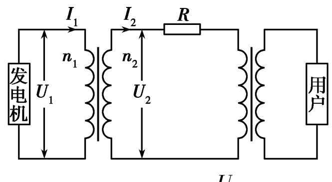
B.此时原线圈两端电压的最大值约为 24 V

C.原线圈两端原来的电压有效值约为 68 V

D.原线圈两端原来的电压有效值约为 48 V

答案　AD　当 $R=5R_0$ 时，Ⓥ示数为 5.0 V，所以输出电流 $I_出=\frac{5.0\text{ V}}{5R_0}$，$U_{R0}=I_出R_0=1$ V，则变压器输出电压为 6 V，由 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}$ 得到输入电压的有效值为 24 V，所以原线圈两端电压最大值为 $\sqrt{2}U_1\approx34$ V，A 正确，B 错误。因 $I_入:I_出=n_2:n_1$ 不变，故输入电流不变时输出电流也不变，当负载由 $R=11R_0$ 变为 $R=5R_0$ 时，由 $U=IR$ 知副线圈电压由 $I(R_0+11R_0)$ 降到 $I(R_0+5R_0)=6$ V，则副线圈两端原来的电压有效值为 12 V，原线圈两端原来的电压有效值为 48 V，C 错误，D 正确。

10.（2014 江苏单科，3，3 分）远距离输电的原理图如图所示，升压变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1、n_2，电压分别为 U_1、U_2，电流分别为 I_1、I_2，输电线上的电阻为 R。变压器为理想变压器，则下列关系式中正确的是（　　）



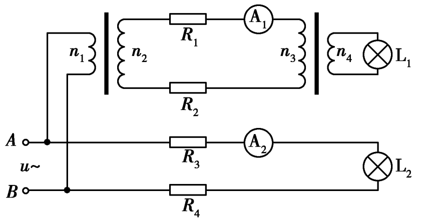
A.$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_1}{n_2}$　　B.$I_2=\frac{U_2}{R}$

C.$I_1U_1=I_2^2R$　　D.$I_1U_1=I_2U_2$

答案　D　由理想变压器可知 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，选项 A 错；$I_2=\frac{U_R}{R}$，而 $U_2=U_R+U_3$，故 $I_2<\frac{U_2}{R}$，B 错；$P_入=P_出$，即 $U_1I_1=U_2I_2$，而 $U_2\neq I_2R$，C 项错，D 项正确。

11.（2014 福建理综，16，6 分）图为模拟远距离输电实验电路图，两理想变压器的匝数 $n_1=n_4<n_2=n_3$，四根模拟输电线的电阻 R_1、R_2、R_3、R_4 的阻值均为 R，A_1、A_2 为相同的理想交流电流表，L_1、L_2 为相同的小灯泡，灯丝电阻 $R_L>2R$，忽略灯丝电阻

随温度的变化。当 A、B 端接入低压交流电源时 ( )



A.A_1、A_2 两表的示数相同

B.L_1、L_2 两灯泡的亮度相同

C.R_1 消耗的功率大于 R_3 消耗的功率

D.R_2 两端的电压小于 R_4 两端的电压

答案 D 解法一:由欧姆定律可知 A_2 的读数 $I_2=\frac{U_1}{2R+R_L}$。

$U_2=\frac{U_1}{n_1}n_2$,$I_1\cdot 2R=U_2-U_3$,$\frac{U_3}{n_3}=\frac{U_4}{n_4}$,$U_4=I_4\cdot R_L$,$\frac{I_1}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$,联立可得:$I_1\cdot 2R=\frac{n_3}{n_1}U_1-\left(\frac{n_3}{n_4}\right)^2\cdot I_1R_L$

由题意可知:$I_1\cdot 2R=\frac{n_2}{n_1}U_1-\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\cdot I_1R_L$

$$I_1\left[2R+\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2R_L\right]=\frac{n_2}{n_1}U_1$$

$$I_1=\frac{\frac{n_2}{n_1}U_1}{2R+\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2R_L}=\frac{U_1}{\frac{2R}{\frac{n_2}{n_1}}+\frac{n_2}{n_1}\cdot R_L}$$

令 $\frac{n_2}{n_1}=k$,则有 $I_1=\frac{U_1}{\frac{2R}{k}+kR_L}$

由于 $R_L>2R$,$k>1$,则 $2R+R_L<\frac{2R}{k}+kR_L$

$I_1<I_2$,因 $P_{R1}=I_1^2R$,$P_{R3}=I_2^2\cdot R$

故 $P_{R1}<P_{R3}$,因 $U_{R2}=I_1R$,$U_{R4}=I_2R$

故 $U_{R2}<U_{R4}$,选项 A、C 错误,选项 D 正确;

同理 $I_4=\frac{n_3}{n_4}I_1=\frac{n_2}{n_1}I_1=\frac{U_1}{\frac{2R}{k^2}+R_L}>\frac{U_1}{2R+R_L}$,知 $I_4>I_2$

故 L_1 灯亮度比 L_2 灯亮度大,选项 B 错误。

解法二:由题意可知为模拟远距离输电,先采用升压变压器,将输入电压升高,这是为了减小输电线路中的电流 I_1,其目的是减小输电线路中的电能损失和电压降落,使用户得到更多的电能,因此,L_1 的亮度大,选项 A、B、C 错误,选项 D 正确。

12.(2014 天津理综,7,6 分)(多选)如图 1 所示,在匀强磁场中,一矩形金属线圈两次分别以不同的转速,绕与磁感线垂直的轴匀速转动,产生的交变电动势图像如图 2 中曲线 a、b 所示,则 ( )

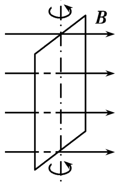


图1

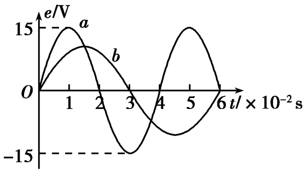


图2

A.两次 $t=0$ 时刻线圈平面均与中性面重合

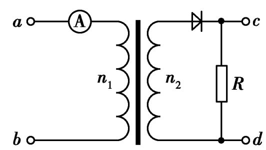
B.曲线 a、b 对应的线圈转速之比为 2∶3

C.曲线 a 表示的交变电动势频率为 25 Hz

D.曲线 b 表示的交变电动势有效值为 10 V

答案 AC 由题图 2 知两次 $t=0$ 时刻线圈产生的瞬时电动势都等于零,故 A 正确。由图 2 知两次转动所产生的交变电动势的周期之比 $T_a∶T_b=2∶3$,再由周期与转速的关系 $n=\frac{1}{T}$ 得 $n_a∶n_b=3∶2$,故 B 错误。因 $T_a=4\times10^{-2}$ s,故 $f_a=\frac{1}{T_a}=25$ Hz,C 正确。因 $E_{ma}=15$ V,而 $E_m=NBS\omega=\frac{2\pi NBS}{T}$,故 $E_{mb}=\frac{T_a}{T_b}E_{ma}=10$ V,$E_b=\frac{E_{mb}}{\sqrt{2}}=5\sqrt{2}$ V,D 错误。

13.(2014 课标Ⅱ,21,6 分)(多选)如图,一理想变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1、n_2。原线圈通过一理想电流表Ⓐ接正弦交流电源,一个二极管和阻值为 R 的负载电阻串联后接到副线圈的两端。假设该二极管的正向电阻为零,反向电阻为无穷大。用交流电压表测得 a、b 端和 c、d 端的电压分别为 U_{ab} 和 U_{cd},则 ( )



A.$U_{ab}∶U_{cd}=n_1∶n_2$

B.增大负载电阻的阻值 R,电流表的读数变小

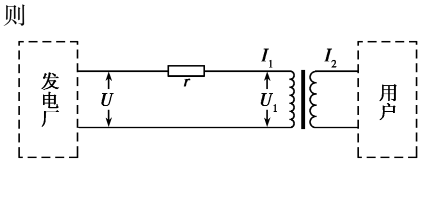
C.负载电阻的阻值越小,cd 间的电压 U_{cd} 越大

D.将二极管短路,电流表的读数加倍

答案 BD a、b 端的电压为正弦式交变电压,故电压表测得的电压 $U_{ab}=\frac{U_{1m}}{\sqrt{2}}$。副线圈两端电压也为正弦式交变电压,但由于二极管的单向导电特性,从而使 c、d 两端的电压成为脉冲直流电,由有效值定义可得 $\frac{U_{cd}^2}{R}T=\frac{\left(\frac{U_{2m}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}\times\frac{T}{2}$,即 $U_{cd}=\frac{U_{2m}}{2}$,故 $U_{ab}∶U_{cd}=\sqrt{2}n_1∶n_2$,A 错误。因 R 增大时消耗的功率 $P=\frac{U_{cd}^2}{R}$ 减小,原线圈输入功率减小,故 U_1 不变时 I_1 减小,B 正确。由 $U_{ab}∶U_{cd}=\sqrt{2}n_1∶n_2$ 可知 U_{cd} 与负载的阻值无关,C 错误。将二极管短路时 R 两端电压为正弦式交变电压,其有效值 $U_{cd}'=\frac{U_{2m}}{\sqrt{2}}$,故此时 R 消耗的功率 $P'=\frac{U_{cd}'^2}{R}$ 为原来的 2 倍,原线圈中的电流也变为原来的 2 倍,故 D 正确。

易错点拨 *经二极管的作用,使得 c、d 两端不再是正弦交流电,其有效值与峰值的关系不再是 $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$。*

14.(2014 浙江理综,15,6 分)如图所示为远距离交流输电的简化电路图。发电厂的输出电压是 U,用等效总电阻是 r 的两条输电线输电,输电线路中的电流是 I_1,其末端间的电压为 U_1。在输电线与用户间连有一理想变压器,流入用户端的电流为 I_2。则 ( )



A.用户端的电压为$\frac{I_1U_1}{I_2}$

B.输电线上的电压降为 U

C.理想变压器的输入功率为 I_1^2r

D.输电线路上损失的电功率为 I_1U

答案　**A**　由理想变压器输入、输出功率相等可知 $P_1=P_2$，即 $U_1I_1=U_2I_2$，$U_2=\frac{I_1U_1}{I_2}$，A 正确。输电线上的电压降为 $\Delta U=U-U_1$，B 错。理想变压器的输入功率 $P=U_1I_1=UI_1-I_1^2r$，C 错。输电线路上损失的电功率为 $\Delta P=I_1^2\cdot r=I_1U-I_1U_1$，D 错。

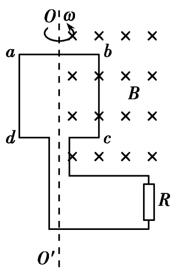
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 268

时间:20 分钟　分值:36 分

选择题(每小题 6 分,共 36 分)

1.(**2018 湖北八校二联**)(多选)如图所示,矩形单匝线圈 $abcd$,放置在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中,绕 OO' 轴匀速转动,转动的周期为 T,ab 的中点和 cd 的中点的连线恰好位于转轴所在直线上,且转轴 OO' 位于匀强磁场的边界线上,转轴 OO' 垂直于磁场方向,线圈电阻阻值为 R,外电阻的阻值也为 R,从图示位置开始计时,线圈转过 30°时的瞬时感应电流为 I,则以下判断正确的是　(　　)



A.线圈的面积为$\frac{4IRT}{\pi B}$

B.线圈消耗的电功率为 $4I^2R$

C.t 时刻线圈中的感应电动势为 $e=2\sqrt{2}IR\sin\frac{2\pi}{T}t$

D.t 时刻穿过线圈的磁通量为 $\Phi=\frac{2IRT}{\pi}\cos\frac{2\pi}{T}t$

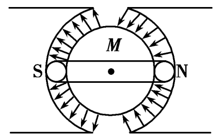
答案　**AD**　设线圈面积为 S,从图示位置开始计时时感应电动势的表达式为 $e=B\frac{S}{2}\omega\sin\omega t=\frac{\pi BS}{T}\sin\theta$,转过 30°时的瞬时电流 $I=\frac{E_{30}}{2R}=\frac{\pi BS}{2RT}\sin 30°=\frac{\pi BS}{4RT}$,故 $S=\frac{4IRT}{\pi B}$,则 $e=4IR\sin\frac{2\pi}{T}t$,A 正确,C 错误。线圈消耗的电功率为 $P=\left[\frac{E_m}{\sqrt{2}(R+R)}\right]^2R=2I^2R$,B 错误。$t$ 时刻穿过线圈的磁通量 $\Phi=B\times\frac{S}{2}\cos\omega t=\frac{2IRT}{\pi}\cos\frac{2\pi}{T}t$,D 正确。

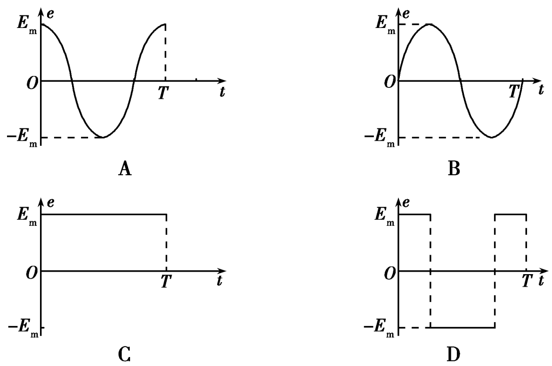
关键点拨　①线圈只有一半的面积在磁场中,即$\frac{S}{2}$。

②电路的内外电阻值均为 R,总电阻为 $2R$。

③求电功率时应用电流的有效值 $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$。

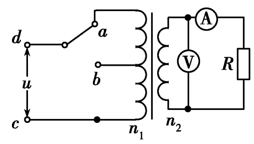
2.(**2018 广东阳东摸底,2**)如图所示为一台发电机的结构示意图,其中 N、S 是永久磁铁的两个磁极,它们的表面呈半圆柱面形状。M 是圆柱形铁芯,铁芯外套有一矩形线圈,线圈绕铁芯 M 中心的固定转轴匀速转动。磁极与铁芯之间的缝隙中形成方向沿半径的辐向磁场。若从图示位置开始计时电动势为正值,则下列图中能正确反映线圈中感应电动势 e 随时间 t 变化规律的是　(　　)



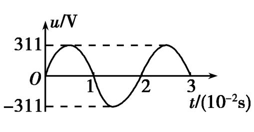


答案　**D**　由磁场分布特点知,线圈在每一个位置的切割磁感线情况相同,产生的感应电动势大小是相等的,方向做周期性变化。

3.(**2020 届河北五校调研,19**)如图甲所示,理想变压器原、副线圈的匝数比为 10 : 1,b 是原线圈的中心抽头,图中电表均为理想的交流电表,定值电阻 $R=10\ \Omega$,其余电阻均不计。从某时刻开始在原线圈 c、d 两端加上如图乙所示的交变电压。下列说法正确的是　(　　)



甲



乙

A.当单刀双掷开关与 a 连接时,电压表的示数为 31.1 V

B.当单刀双掷开关与 b 连接且在 0.01 s 时,电流表示数为4.4 A

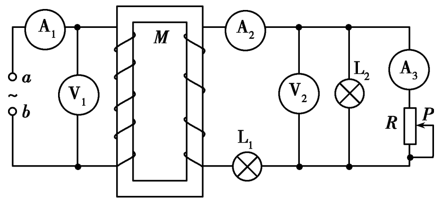
C.当单刀双掷开关由 a 拨向 b 时,副线圈输出电压的频率变为25 Hz

D.当单刀双掷开关由 a 拨向 b 时,原线圈的输入功率变小

答案　**B**　本题考查了变压器的动态分析,体现了科学思维中科学论证要素。

由图像可知,电压的最大值为 311 V,交流电的周期为 2×10^{-2} s,所以交流电的频率为 $f=\frac{1}{T}=50$ Hz,电压的有效值为 $\frac{311\ \text{V}}{\sqrt{2}}=220$ V,根据电压与匝数成正比,即$\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}=\frac{10}{1}$可知,副线圈的电压为 $U_2=22$ V,A 错误;当单刀双掷开关与 b 连接时,$\frac{n_1}{n_2}=\frac{5}{1}$,副线圈电压为 $U_2'=44$ V,所以副线圈电流为 $I_2=4.4$ A,电流表示数为电流的有效值,不随时间的变化而变化,所以电流表的示数为 4.4 A,B 正确;变压器不会改变电流的频率,所以副线圈输出电压的频率为 50 Hz,C 错误;当单刀双掷开关由 a 拨向 b 时,原线圈的匝数变小,所以副线圈的输出的电压要变大,电阻 R 上消耗的功率变大,原线圈的输入功率也要变大,D 错误。

4.(2019 黑龙江哈尔滨三中一模,7)(多选)如图所示,M 是一小型理想变压器,在 a、b 端输入稳定的正弦交流电,变压器右侧部分连有电阻恒定不变的相同小灯泡 L_1、L_2,滑动变阻器 R,所有电表都是理想电表,当滑动变阻器的滑片 P 向上滑动时,U_2 为 V_2 表示数,I_2 为 A_2 表示数,以下说法中正确的是 ( )



A.A_1 的示数增大,A_2 的示数增大,A_3 的示数也增大

B.V_1 的示数不变,V_2 的示数减小

C.$\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}$变小

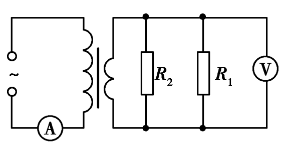
D.L_1、L_2 都变亮

答案 **AB** a、b 端输入稳定的正弦交流电,则电压表 V_1 示数不变,所以副线圈的电压恒定,当滑动变阻器 P 向上滑动时,副线圈总电阻减小,总电流变大,即电流表 A_2 的示数变大,灯泡 L_1 两端电压变大,所以电压表 V_2 示数变小,由$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$可知,电流表 A_1 的示数变大,由于电压表 V_2 的示数变小,所以流过 L_2 的电流变小,总电流变大,所以电流表 A_3 的示数变大,故 A、B 正确;设副线圈两端电压为 $U_副$,则有 $U_2=U_副-I_2R_1$,$\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}=R_1$ 不变,C 错误;由 A 分析可知,L_1 变亮,L_2 变暗,故 D 错误。

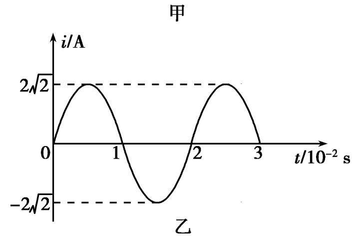
考查点 变压器

温馨提示 ①原、副线圈两端电压不变。②副线圈可以看成是电源,$U_2=U_副-I_2R_1$。

5.(2019 安徽淮北宿州一模,3)如图甲所示,理想变压器的原、副线圈匝数比为 2∶1,$R_1=55\ \Omega$,$R_2=110\ \Omega$,图中电表均为理想电表,流过 R_1 的正弦交变电流如图乙所示。下列表述正确的是 ( )



甲



乙

A.电流表的示数为 2 A

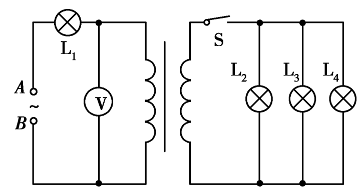
B.电压表的示数为 110 V

C.变压器的输入功率为 440 W

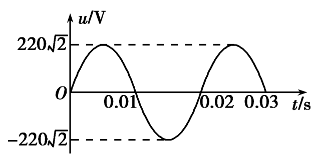
D.原线圈中交流电的频率为 100 Hz

答案 **B** 由图乙可知,通过电阻 R_1 的电流的最大值为 $2\sqrt{2}$ A,所以电流的有效值为 2 A,根据电路图可知,电阻 R_1、R_2 两端的电压为 $U_1=U_2=I_{R1}\cdot R_1=2\times55\ \text{V}=110\ \text{V}$,所以通过电阻 R_2 的电流 $I_{R2}=\frac{U_2}{R_2}=\frac{110}{110}\ \text{A}=1\ \text{A}$,所以原线圈中的电流$I_1=\frac{n_2}{n_1}\cdot I_2=\frac{n_2}{n_1}\cdot(I_{R1}+I_{R2})=\frac{1}{2}\times(2+1)\ \text{A}=1.5\ \text{A}$,故 A 错误。副线圈两端的电压为 110 V,所以电压表的读数为 110 V,故 B 项正确。变压器的输出功率$P=U_2\cdot(I_{R1}+I_{R2})=110\times(2+1)\ \text{W}=330\ \text{W}$,所以变压器的输入功率也是 330 W,故 C 错误。由乙图可知该交流电的周期是 0.02 s,则频率$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.02}\ \text{Hz}=50\ \text{Hz}$,由于变压器不改变交流电的频率,所以原线圈中交流电的频率为 50 Hz,故 D 错误。

6.(2019 陕西咸阳武功二模,7)(多选)四个相同的灯泡分别接在如图甲所示的位置,理想变压器原线圈串联灯泡 L_1,副线圈回路并联三个灯泡 L_2、L_3、L_4,A、B 两端接交流电源,电压按如图乙所示规律变化,现闭合开关 S,四个灯泡均正常发光,下列说法正确的是 ( )



甲



乙

A.电压表示数为 220 V

B.灯泡的额定电压为 55 V

C.变压器原、副线圈的匝数比为 3∶1

D.若断开开关 S,电压表示数减小

答案 **BC** 由图乙可知 A、B 两端电压有效值为 220 V,因四个灯泡均正常工作,可知原、副线圈电流之比为$\frac{I_1}{I_2}=\frac{1}{3}$,根据$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$可知变压器原、副线圈的匝数比为 3∶1;灯泡的额定电压为 U,则电压表示数为 $U_1=3U=220\ \text{V}-U$,故 $U=55$ V,则 $U_1=165$ V,故 A 错误,B、C 正确;若断开开关 S,则原线圈回路电流为零,电压表示数增大为 220 V,故 D 错误。

考查点 变压器,交变电流的描述

温馨提示 理想变压器有$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$(一个副线圈)。

专题十三　近代物理初步

探考情 悟真题

5年考情探究 真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码145

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
波粒二象性	光电效应	2018课标Ⅱ,17,6分	3		能量观念	排除法	★★☆
		2017课标Ⅲ,19,6分	3		能量观念		
		2016课标Ⅰ,35(1),5分	2		能量观念		
		2015课标Ⅱ,35(1),5分	3	干涉、衍射	科学推理		
		2019北京理综,19,6分	3		科学推理		
		2019江苏单科,12(3)	2		能量观念		
		2018天津理综,5,6分	4	折射率	能量观念		
原子、原子核	原子	2019课标Ⅰ,14,6分	3		模型建构		★★★
		2019课标Ⅱ,15,6分	2		能量观念		
		2017课标Ⅱ,15,6分	4	动量	能量观念		
		2015安徽理综,14,6分	3	牛顿第二定律	模型建构		
		2015天津理综,1,6分	2		物质观念		
	原子核	2018课标Ⅲ,14,6分	2		科学推理		
		2016课标Ⅲ,35(1),5分	2	动量守恒定律	能量观念		
		2019天津理综,6,6分	2		社会责任		
		2018天津理综,1,6分	2		能量观念		
		2015重庆理综,1,6分	2		科学推理		
		2015广东理综,18,6分	2		能量观念		

分析解读

本专题内容是选修3-5模块的两个重要内容之一,由原来的选考内容改为必考内容,命题难度不大,但考点较多,主要包括光电效应、氢原子能级、氢原子光谱、原子结构和原子核。

复习时应注重四个问题:一是精读教材,熟练掌握教材内容,重视课后习题;二是重视与现代科技相联系的题目;三是把重点放在光电效应、氢原子能级跃迁规律、核反应方程的书写及结合能和质量亏损的计算上;四是动量守恒定律在核反应过程中的应用。

真题探秘

对应学生用书起始页码 146

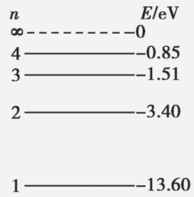
(2019课标Ⅰ，14，6分)氢原子能级示意图如图所示。光子能量在1.63 eV ~3.10 eV的光为可见光。要使处于基态(n=1)的氢原子被激发后可辐射出可见光光子，最少应给氢原子提供的能量为 ( )

创设试题情景：氢原子能级跃迁

给定第一个条件：可见光光子能量范围

给定第二个条件：基态氢原子吸收能量

设问针对氢原子从基态跃迁需要吸收的最少能量



A.12.09 eV　　B.10.20 eV

C.1.89 eV　　D.1.51 eV

① 核心要点

氢原子吸收能量从基态到激发态的跃迁规律，从高能级向低能级的跃迁规律。

② 设问方式

针对可见光光子能量范围求处于基态的氢原子需要吸收的最少能量。

③ 情景解读

处于基态氢原子的吸收能量跃迁和辐射能量跃迁。

④ 思路分析

根据可见光光子能量范围信息，要辐射出可见光光子，氢原子应从第三能级跃迁到第二能级，因此处于基态的氢原子只有吸收能量跃迁到第三能级才能得出结论。

⑤ 答案

A　详细解析见287页5年高考A组第1题

破考点 练考向

考点考向清单 考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 146

考点一　波粒二象性

考向基础

一、光电效应

1.光电效应现象中的几个概念

(1)光电效应:在光的照射下金属发射电子的现象叫做光电效应,发射出来的电子叫做光电子。

(2)极限频率:能使某种金属发生光电效应的最小频率叫做该种金属的极限频率。

(3)逸出功:电子从金属中逸出所需做功的最小值叫做该金属的逸出功。

(4)遏止电压:使光电流减小到零时的反向电压称为遏止电压。

(5)光子说:在空间传播的光不是连续的,而是一份一份的,每一份叫做一个光量子,简称光子,光子的能量 $E=h\nu$。

2.光电效应的产生条件:入射光的频率大于极限频率。

3.光电效应实验规律

(1)任何一种金属,都有一个与之对应的极限频率,低于这个频率的光不能发生光电效应。所以判断光电效应是否发生应该比较题目中给出的入射光频率和对应金属的极限频率的大小。

(2)光电子的最大初动能与入射光的强度无关,只随着入射光频率的增大而增大。

(3)入射光照射到金属上时,光电子的发射几乎是瞬时的,一般不超过 10^{-9} s。

二、光电效应方程

1.表达式:光电子的最大初动能 E_{km} 与入射光光子的能量 $h\nu$ 和逸出功 W 之间的关系:$E_{km}=h\nu-W$。其中逸出功是指使某种金属原子中电子脱离金属所做功的最小值。

2.物理意义:金属中电子吸收一个光子获得的能量是 $h\nu$,这些能量一部分克服金属的逸出功,剩余的表现为逸出电子的初动能。

三、康普顿效应

概念	当光入射到物质上被散射后,在散射波中,除有与入射波的波长相同的射线外,还有波长比入射波的波长更长的射线。人们把这种波长变化的现象叫做康普顿效应
解释	在康普顿效应中,入射光的光子与物质中的自由电子发生弹性碰撞,碰撞中满足动量守恒与能量守恒,光子的一部分能量传递给电子,从而引起被散射光子的能量减小,频率减小,波长变长
意义	(1)证明了爱因斯坦光子说的正确性 (2)揭示了光子不仅具有能量,还具有动量 (3)揭示了光具有粒子性的一面 (4)证实了在微观粒子的单个碰撞事件中动量守恒定律和能量守恒定律仍然成立

说明　光子的动量

由动量的定义有 $p=mc$，结合光子能量 $E=h\nu$、爱因斯坦的质能方程 $E=mc^2$ 及 $c=\lambda\nu$ 可得 $p=\frac{h}{\lambda}$。

四、光的波粒二象性与物质波

1.光的波粒二象性

	实验基础	表现	说明
光的波动性	光的干涉和衍射	(1)光是一种概率波，即光子在空间各点出现的可能性大小(概率)可用波动规律来描述 (2)大量光子往往表现出波动性	(1)光的波动性是光子本身的一种属性，不是光子之间相互作用产生的 (2)光的波动性不同于宏观观念的波
光的粒子性	光电效应、康普顿效应	(1)当光同物质发生作用时，这种作用是“一份一份”进行的，表现出粒子的性质 (2)少量光子往往表现出粒子性	(1)“粒子”的含义是“不连续”、“一份一份”的 (2)光子不同于宏观观念的粒子
波动性和粒子性的对立、统一	(1)大量光子易显示波动性，而少量光子易显示出粒子性 (2)波长长(频率低)的光波动性强，而波长短(频率高)的光粒子性强		(1)光子说并未否定波动性，$E=h\nu=hc/\lambda$ 中，ν 和 λ 就是波动性的体现 (2)波和粒子在宏观世界是不能统一的，而在微观世界却是统一的

2.物质波：与实物粒子相联系的波叫物质波；实物粒子的能量 E 和动量 p 跟它所对应的波的频率 ν 和波长 λ 之间遵循的关系为：$E=h\nu,p=\frac{h}{\lambda}$。

考向突破

考向　光电效应

1.光电效应有关概念对比

(1)光子与光电子

光子指光在空间传播时的每一份能量，光子不带电，光电子是金属表面受到光照射时发射出来的电子，光子是光电效应的因，光电子是果。

(2)光电子的动能与光电子的最大初动能

光照射到金属表面时，电子吸收光子的能量，可能向各个方向运动，除了要做逸出功外，有时还要克服原子的其他束缚的作用力，剩余部分为光电子的初动能；只有金属表面的电子直接向外飞出时，只需克服原子核的引力做功的情况，才具有最大初动能。

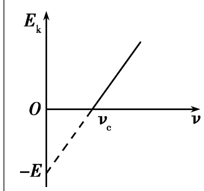
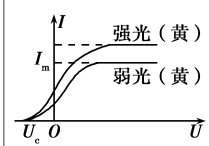
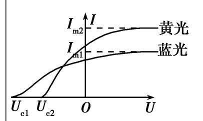
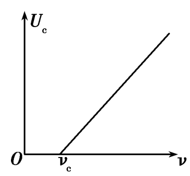
(3)光电流和饱和电流

从金属板飞出的光电子到达阳极，回路中便产生光电流，随着所加正向电压的增大，光电流趋于一个饱和值，这个饱和值是饱和电流，在一定的光照条件下，饱和电流与所加电压大小无关。

(4)入射光强度与光子能量

入射光强度指单位时间内照射到金属表面单位面积上的总能量，光子能量即每个光子的能量。光的总能量等于光子能量与入射光子数的乘积。

2.光电效应四类图像

图像名称	图线形状	由图线直接(或间接)得到的物理量
最大初动能 E_k 与入射光频率 ν 的关系图线		①极限频率：图线与 ν 轴交点的横坐标 ν_c ②逸出功：图线与 E_k 轴交点的纵坐标的绝对值 $W=\|-E\|=E$ ③普朗克常量：图线的斜率 $k=h$
颜色相同、强度不同的光，光电流与电压的关系		①遏止电压 U_c：图线与横轴的交点的横坐标值 ②饱和电流 I_m：电流的最大值 ③最大初动能：$E_k=eU_c$
颜色不同时，光电流与电压的关系		①遏止电压 U_{c1}、U_{c2} ②饱和电流 I_{m1}、I_{m2} ③最大初动能 $E_{k1}=eU_{c1}$，$E_{k2}=eU_{c2}$
遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 的关系图线		①截止频率 ν_c：图线与横轴的交点的横坐标 ②遏止电压 U_c：随入射光频率的增大而增大 ③普朗克常量 h：等于图线的斜率与电子电荷量的乘积，即 $h=ke$

3.光电效应的研究思路

(1)两条线索

照射光：
- 强度——决定着每秒钟光源发射的光子数
- 频度——决定着每个光子的能量 $\varepsilon=h\nu$

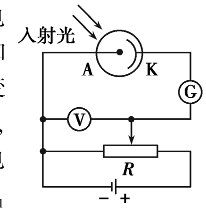
光电子：
- 每秒钟逸出的光电子数——决定着光电流的大小
- 光电子逸出后的最大初动能 $\frac{1}{2}mv^2$

(2)两条对应关系

光强大 → 光子数目多 → 发射光电子多 → 光电流大

光子频率高 → 光子能量大 → 光电子的最大初动能大

例1　如图所示，用某单色光照射光电管的阴极 K 会发生光电效应。在阳极 A 和阴极 K 之间加上反向电压，通过调节滑动变阻器的滑片，逐渐增大加在光电管上的电压，直至电流表中电流恰为零，此时电压表的电压值 U 称为遏止电压。现分别用频率为 ν_1 和 ν_2 的单色光照射阴极，测得遏止电压分别为 U_1 和 U_2，设电子的质量为 m、电荷量为 e，下列说法正确的是　(　　)



A.用频率为 ν_1 的光照射时，光电子的最大初速度为 $\sqrt{\frac{2eU_1}{m}}$

B.用频率为 ν_2 的光照射时，光电子的最大初速度为 $\sqrt{\frac{eU_2}{2m}}$

C.阴极 K 金属的逸出功为 $W=\frac{e(U_1\nu_2-U_2\nu_1)}{\nu_1-\nu_2}$

D.阴极 K 金属的极限频率是 $\nu_c=\frac{U_1\nu_2-U_2\nu_1}{U_1-U_2}$

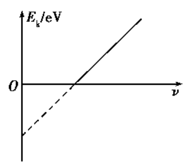
解析　本题考查了光电效应实验，体现了科学思维中科

学推理要素。

在阳极 A 和阴极 K 之间加上反向电压,逃逸出的光电子在反向电场中做减速运动,根据动能定理可得 $-eU=0-\frac{1}{2}mv_m^2$,解得光电子的最大初速度为 $v_m=\sqrt{\frac{2eU}{m}}$,所以用频率为 ν_1 的光照射时,光电子的最大初速度为 $\sqrt{\frac{2eU_1}{m}}$,用频率为 ν_2 的光照射时,光电子的最大初速度为 $\sqrt{\frac{2eU_2}{m}}$,故 A 正确,B 错误;根据光电效应方程可得 $h\nu_1=eU_1+W$,$h\nu_2=eU_2+W$,联立可得 $W=\frac{e(U_1\nu_2-U_2\nu_1)}{\nu_1-\nu_2}$,$h=\frac{e(U_1-U_2)}{\nu_1-\nu_2}$,阴极 K 金属的极限频率 $\nu_c=\frac{W}{h}=\frac{U_1\nu_2-U_2\nu_1}{U_1-U_2}$,C、D 正确。

答案 ACD

例 2 在做光电效应的实验时,某金属被光照射发生了光电效应,实验测得光电子的最大初动能 E_k 与入射光的频率 ν 的关系如图所示,由实验图线可求出 ( )



A.该金属的极限频率和极限波长

B.普朗克常量

C.该金属的逸出功

D.单位时间逸出的光电子数

解析 依据光电效应方程 $E_k=h\nu-W_0$ 可知,当 $E_k=0$ 时,$\nu=\nu_c$,即图像中横轴的截距在数值上等于金属的极限频率,再由 $c=\nu\lambda$ 可求极限波长。

图线的斜率是 $k=\tan\theta=\frac{E_k}{\nu-\nu_c}$,图线的斜率在数值上等于普朗克常量。

据图像,假设图线的延长线与 E_k 轴的交点为 C,其截距为 W,有 $\tan\theta=\frac{|W|}{\nu_c}$,而 $\tan\theta=h$,即图像中纵轴截距的绝对值在数值上等于金属的逸出功。

由题给条件无法求单位时间逸出的光电子数。

答案 ABC

考点二 原子、原子核

考向基础

一、原子的核式结构

1.α 粒子散射实验与原子核式结构

1909—1911 年,英国物理学家卢瑟福和他的助手进行了用 α 粒子轰击金箔的实验,实验发现绝大多数 α 粒子穿过金箔后基本上仍沿原来的方向前进,但有少数 α 粒子发生了大角度偏转,偏转的角度甚至大于 90°,也就是说它们几乎被“撞”了回来。

为了解释 α 粒子的大角度散射现象,卢瑟福在 1911 年提出了核式结构模型。在原子的中心有一个很小的核,叫原子核,它集中了原子的全部正电荷和几乎全部的质量,带负电的电子在核外空间绕核运动。

2.核式结构的局限性

核式结构学说成功地解释了 α 粒子的散射实验,但在解释原子的发光和原子的稳定性时却遇到了无法解决的困难。

二、氢原子光谱

定义	用光栅或棱镜可以把各种颜色的光按波长展开,获得光的波长(频率)和强度分布的记录,即光谱			
分类	发射光谱	发光物体直接产生的光谱		
		连续谱	特点	连续分布的包含从红光到紫光各种色光的光谱
			产生	由炽热的固体、液体,高压气体产生
		线状谱	特点	只含有一些不连续的亮线的光谱,又称为原子光谱
			产生	由单原子的稀薄气体或金属蒸气产生
		带状谱	特点	由一系列光谱带组成
			产生	由分子辐射产生
	吸收光谱	高温物体发出的白光通过某种物质后,某些波长的光被物质吸收后形成的光谱		
		特点	连续光谱的背景上出现一些暗线	
		产生	由炽热的物体(或高压气体)发出的白光通过温度较低的气体产生	
		与线状谱的关系	各种原子的吸收光谱的暗线和线状谱的亮线相对应,即表明某种原子发出的光和吸收的光的频率是特定的,通常吸收光谱中的暗线比线状谱中的亮线要少一些。这些亮线或暗线称为该原子的特征谱线	
应用——光谱分析	概念	各种元素都有自己的特征谱线。如果在某种物质的线状谱或吸收谱中出现了若干种元素的特征谱线,表明该物质中含有这种元素的成分,这种对物质进行化学组成的分析和鉴别的方法称为光谱分析		
	优点	灵敏、快捷,某种元素在物质中的含量达到 10^{-10} g,就能够从光谱中发现它的特征谱线		
	应用	①检测材料纯度 ②历史上帮助发现新元素 ③研究天体的物质成分 ④鉴定文物、食品优劣等		

说明 太阳光谱不是连续光谱,而是吸收光谱,是阳光透过太阳高层大气射向地球时,太阳高层大气中含有的元素会吸收它自己特征谱线的光,然后再发射出去,不过这次发射是向四面八方发射。所以到达地球的这些谱线看起来就弱了。这样就形成了明亮背景下的暗线——夫琅和费暗线。与已知元素的光谱相比较,知道太阳中含有钠、镁、铜、锌、镍等金属元素。

氢原子光谱线是最早发现、研究的光谱线,这些光谱线可用一个统一的公式表示:

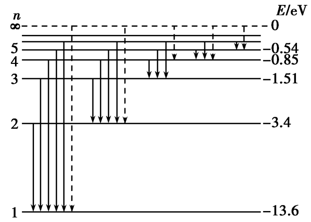
$$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

式中 $m=1,2,3,\cdots$ 对每一个 m,有 $n=m+1,m+2,m+3,\cdots$ 构成一个谱线系。

三、能级

概念	在玻尔模型中,原子的可能状态是不连续的,因此各状态对应的能量也是不连续的。这些能量值叫做能级
基态与激发态	各状态的标号 1,2,3…叫做量子数,通常用 n 表示。能量最低的状态叫做基态,其他状态叫做激发态。基态和激发态的能量分别用 $E_1,E_2,E_3\cdots$ 代表 基态与离核最近的轨道相对应,量子数 $n=1$ 激发态对应的量子数依次为 $n=2,3,4\cdots$,分别称之为第二能级、第三能级、第四能级……或第一激发态、第二激发态、第三激发态……,相应状态下离核距离增大

续表

能级图	用水平线表示能级,水平线间距离表示能级差大小的图示称为能级图	
	氢原子能级图	
	备注	①每一条水平线代表一个定态 ②左端“n”对应的数字表示量子数,右端“E”对应的数字表示能级 ③n 越大时相邻能级间差值越小 ④竖直带箭头的线段表示一种跃迁方式
跃迁	概念	原子由一个能量状态变为另一个能量状态的过程称为跃迁
	辐射与激发	从高能级向低能级的跃迁过程,若以释放光子的形式释放能量,称为辐射。$h\nu=E_{初}-E_{终}$
		从低能级向高能级的跃迁过程称为激发,始末能级差的绝对值等于所吸收的能量,$\Delta E=E_{终}-E_{初}$

四、天然放射现象

概念	元素自发地放出射线的现象				
发现	1896 年,法国物理学家贝可勒尔发现				
意义	使人们认识到原子核也有复杂的结构				
放射性	概念	物质发射射线的性质称为放射性			
	放射性元素	具有放射性的元素称为放射性元素,原子序数大于或等于 83 的元素,都能自发地发出射线,原子序数小于 83 的元素,有的也能放出射线,它们放射出来的射线共有三种			
	三种射线的本质及特征	种类	α 射线	β 射线	γ 射线
		组成	高速氦核流	高速电子流	光子流(高频电磁波)
		带电荷量	$2e$	$-e$	0
		质量	$4m_p$,$m_p=1.67\times10^{-27}$ kg	$\frac{m_p}{1\ 836}$	静止质量为零
		速度	$0.1c$	$0.99c$	c(光速)
		在电场、磁场中	偏转	与 α 射线反向偏转	不偏转
		贯穿本领	最弱,用纸能挡住	较强,穿透几毫米的铝板	最强,穿透几厘米的铅板
		对空气的电离作用	很强	较弱	很弱

五、原子核的组成

质子	发现者	1919 年,英国物理学家卢瑟福
	实质	氢原子核
	质量	$1.672\ 623\ 1\times10^{-27}$ kg
	电荷	正电,带电荷量为元电荷
	符号	p 或 $_{1}^{1}$H

续表

中子	发现者	1932 年卢瑟福的学生查德威克
	质量	$1.674\ 928\ 6\times10^{-27}$ kg
	电荷	电中性,不带电
	符号	n 或 $_{0}^{1}$n
备注	核子	质子与中子的统称
	三个整数	(1)核子数:质子和中子质量差别非常微小,两者统称为核子,所以质子数和中子数之和叫核子数
		(2)核电荷数(Z):原子核所带的电荷总是质子电荷的整数倍,通常用这个倍数表示原子核的电荷量,叫做原子核的电荷数
		(3)质量数(A):原子核的质量等于核内质子和中子的质量的总和,而一个质子与一个中子的质量几乎相等,所以原子核的质量几乎等于单个核子质量的整数倍,这个倍数叫做原子核的质量数
	两个等式	(1)核电荷数=质子数=元素的原子序数=核外电子数
		(2)质量数(A)=核子数=质子数+中子数
	同位素	具有相同质子数不同中子数的原子核,在元素周期表中处于同一位置,因而互称同位素
		原子核的质子数决定了核外电子的数目,也决定了电子在核外的分布情况,进而决定了这种元素的化学性质。同位素的化学性质相同

六、核反应

(1)衰变:放射性元素的原子核自发放出某种粒子后变成新的原子核的变化。

a.α 衰变:$_{Z}^{A}X\rightarrow_{Z-2}^{A-4}Y+_{2}^{4}He$

b.β 衰变:$_{Z}^{A}X\rightarrow_{Z+1}^{A}Y+_{-1}^{0}e$

(2)原子核的人工转变:用人工的方法,使原子核在其他粒子的轰击下产生新原子核的过程。

a.质子的发现:$_{7}^{14}N+_{2}^{4}He\rightarrow_{8}^{17}O+_{1}^{1}H$(卢瑟福)

b.中子的发现:$_{4}^{9}Be+_{2}^{4}He\rightarrow_{6}^{12}C+_{0}^{1}n$(查德威克)

(3)裂变:一个重核分裂成两个中等质量的核,这样的核反应叫做裂变。

$_{92}^{235}U+_{0}^{1}n\rightarrow_{56}^{144}Ba+_{36}^{89}Kr+3_{0}^{1}n$

(4)聚变:两个轻核结合成质量较大的核,这样的核反应叫做聚变。

$_{1}^{2}H+_{1}^{3}H\rightarrow_{2}^{4}He+_{0}^{1}n+17.6$ MeV

考向突破

考向一　原子

一、原子结构

1.α 粒子散射实验用金箔作为靶子,是因为:

(1)金的延展性好,容易做成很薄的箔,实验用的金箔厚度大约是 10^{-7} m;(2)金原子带的正电荷多,与 α 粒子间的库仑力大;(3)金原子质量大约是 α 粒子质量的 50 倍,因而惯性大,相比而言,α 粒子运动状态容易改变。

2.原子中有电子,但电子质量很小,不及 α 粒子质量的七千分之一,α 粒子碰到它,就像飞行的子弹碰到一粒尘埃一样,运动方向不会发生明显改变。α 粒子散射现象表明,原子内部非常空旷,带正电的部分体积很小,但集中了几乎全部质量,当 α 粒子接近原子核时,就会受到很大的库仑斥力,发生较大角度的偏转,由于原子核体积小,α 粒子穿过金箔时接近原子核的机会很小,所以只有少数 α 粒子发生大角度偏转。

3.原子：原子核（带正电；几乎集中了原子全部质量）；电子带负电，电子绕核运动

二、氢原子能级跃迁问题

1.理解要点：玻尔的原子模型是以假说的形式提出来的，包括以下三方面的内容：

(1)轨道假设：即轨道是量子化的，只能是某些分立的值。$r_n=n^2r_1(n=2,3,4\cdots)$，$r_1=0.53\times10^{-10}$ m。

(2)定态假设：即不同的轨道对应着不同的能量状态，这些状态中原子是稳定的，不向外辐射能量。即：稳定状态的能量 $E_n=\dfrac{E_1}{n^2}(n=2,3,4\cdots)$，$E_1=-13.6$ eV。

(3)跃迁假设：原子在不同的状态具有不同的能量，从一个定态向另一个定态跃迁时要辐射或吸收一定频率的光子，该光子的能量等于这两个状态的能级差 $h\nu=E_m-E_n$。

2.氢原子各定态的能量值为电子绕核运动的动能 E_k 和电势能 E_p 的代数和。由 $E_n=\dfrac{E_1}{n^2}(n=2,3,4\cdots)$ 和 $E_1=-13.6$ eV 可知，氢原子各定态的能量值均为负值。

3.一群氢原子跃迁发出的光谱线条数为 $N=C_n^2=\dfrac{n(n-1)}{2}$。

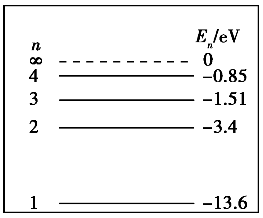
4.跃迁与电离

跃迁	根据玻尔理论，当原子从低能级向高能级跃迁时，必须吸收特定频率的光子才能实现；相反，当原子从高能级向低能级跃迁时，必须辐射特定频率的光子才能实现。跃迁时不管是吸收还是辐射光子，其光子的能量都必须等于这两个能级的能量差
电离	原子一旦电离，原子结构将被破坏，而不再遵守有关原子结构理论，如基态氢原子的电离能为 13.6 eV，只要能量大于或等于 13.6 eV的光子，都能使基态的氢原子吸收而电离，只不过入射光子的能量越大，原子电离后产生的自由电子的动能就越大，不论原子处于什么状态，只要入射光子的能量大于该状态电离所需要的能量就可使之电离

5.激发的方式

光致激发	入射光子的能量 $h\nu=E_{终}-E_{初}$ (引起电离时入射光子的能量 $h\nu=E_k+\lvert E_{初}\rvert$，$E_k$ 是电离后电子的动能，$E_{初}$ 是光子入射前原子所处的能级，则 $h\nu\geq\lvert E_{初}\rvert$ 即可)
碰撞激发	入射粒子若是电子时，$E_k\geq E_{终}-E_{初}$(因电子质量远小于原子质量，其动能不小于相应能级差即可引起激发，多余的能量仍以入射电子的动能形式存在)
	入射粒子若是与质子质量等大的粒子时，$E_k>E_{终}-E_{初}$(因碰撞中动量守恒，入射粒子的动能不能全部被吸收转化为原子能量)

例1 如图为氢原子能级示意图的一部分，现有大量的氢原子处于 $n=4$ 的激发态，当向低能级跃迁时辐射出若干不同频率的光。关于这些光下列说法正确的是 ( )



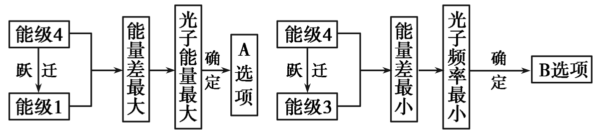
A.由 $n=4$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级产生的光子能量最大

B.由 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级产生的光子频率最小

C.这些氢原子总共可辐射出 3 种不同频率的光

D.用 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级辐射出的光照射逸出功为 6.34 eV的金属铂能发生光电效应

解题导引



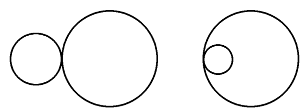
解析 由 $n=4$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级产生的光子能量 $E_1=[-0.85-(-13.6)]$ eV $=12.75$ eV 为跃迁时产生光子能量的最大值，A 正确。由 $n=4$ 向 $n=3$ 能级跃迁时，产生的光子能量最小，频率也最小，B 错。这些氢原子跃迁时共可辐射出 6 种不同频率的光，C 错。从 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级辐射出的光子能量为 10.2 eV，大于金属铂的逸出功，故能发生光电效应，D 正确。

答案 AD

考向二 原子核

一、原子核衰变过程中，α 粒子、β 粒子和新生原子核在磁场中的轨迹

1.α 衰变中，α 粒子和新生原子核在磁场中的轨迹外切，如图甲所示。



甲 乙

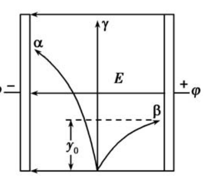
2.β 衰变中，β 粒子和新生原子核在磁场中的轨迹内切，如图乙所示。

二、三种射线在电场和磁场中偏转时的特点

1.不论在电场还是磁场中，γ 射线总是做匀速直线运动，不发生偏转。

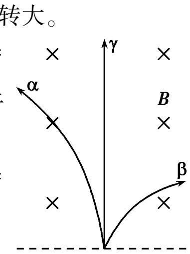
2.在匀强电场中，α 粒子和 β 粒子沿相反方向做类平抛运动，且在同样的条件下，β 粒子的偏移大。

如图所示，粒子在电场力方向做初速度为零的匀加速直线运动，对于 β 粒子，位移 x 可表示为 $x=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{qE}{2m}\left(\dfrac{y_0}{v}\right)^2\propto\dfrac{q}{mv^2}$，所以，在同样条件下 β 粒子与 α 粒子偏移之比为 $\dfrac{x_\beta}{x_\alpha}=\dfrac{e}{2e}\times\dfrac{4m_p}{m_p/1\ 836}\times\dfrac{(c/10)^2}{(0.99c)^2}=37>1$。



3.在匀强磁场中，α 粒子和 β 粒子沿相反方向做匀速圆周运动，且在同样条件下，β 粒子的轨道半径小，偏转大。

如图所示，粒子的轨道半径可表示为 $R=\dfrac{mv}{Bq}\propto\dfrac{mv}{q}$，所以，在同样条件下 β 粒子与 α 粒子轨道半径之比为 $\dfrac{R_\beta}{R_\alpha}=\dfrac{m_p/1\ 836}{4m_p}\times\dfrac{0.99c}{c/10}\times\dfrac{2e}{e}=\dfrac{1}{371}<1$。



根据上述径迹特点，即使电场和磁场方向未知，也可以一下就看出射线的种类。

说明 α 粒子速度约为真空中光速的 1/10，β 粒子速度接近真空中的光速。

三、核能的计算

1.质能方程:爱因斯坦的相对论指出,物体的质量和能量存在着密切联系,即 $E=mc^2$,这就是爱因斯坦的质能方程。

说明　质能方程告诉我们质量和能量之间存在着简单的正比关系。物体的能量增大,质量也增大;能量减小,质量也减小。且核反应中释放的能量与质量亏损成正比:$\Delta E=\Delta mc^2$。

2.核能:核反应中放出的能量称为核能。

3.核能的计算

(1)根据爱因斯坦质能方程,用核子结合成原子核时质量亏损(Δm)的千克数乘以真空中光速的平方。即

$\Delta E=\Delta mc^2$。

(2)原子质量单位用 u 表示,根据 1 u 相当于 931.5 MeV,用核子结合成原子核时质量亏损的原子质量单位数乘以 931.5 MeV。即

$\Delta E=\Delta m\times931.5$ MeV。

例 2　(2019 广西南宁质检)某核反应方程为${}_1^2H+{}_1^3H\to{}_2^4He+X$。已知${}_1^2H$ 的质量为 2.013 6 u,${}_1^3H$ 的质量为 3.018 0 u,${}_2^4He$ 的质量为 4.002 6 u,X 的质量为 1.008 7 u,则下列说法中正确的是　(　　)

A.X 是质子,该反应释放能量为 8.91 MeV
B.X 是中子,该反应释放能量为 18.91 MeV
C.X 是质子,该反应吸收能量为 8.91 MeV
D.X 是中子,该反应吸收能量为 18.91 MeV

解析　本题考查核能的计算,体现了物理观念中能量要素。

根据核反应过程质量数、电荷数守恒,知 X 为中子,在该反应发生前反应物的总质量 $m_1=2.013\ 6\ u+3.018\ 0\ u=5.031\ 6\ u$,反应后产物总质量 $m_2=4.002\ 6\ u+1.008\ 7\ u=5.011\ 3\ u$,总质量减少,出现了质量亏损。根据爱因斯坦的质能方程可知该反应释放能量,产生的质量亏损是 $\Delta m=5.031\ 6\ u-5.011\ 3\ u=0.020\ 3\ u$,则 $\Delta E=0.020\ 3\times931.5\ MeV\approx18.91\ MeV$,故选项 B 正确。

答案　B

四、放射性同位素的应用

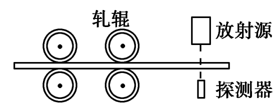
1.利用它的射线

如利用钴 60 放出的很强的 γ 射线来检查金属内部有没有砂眼和裂纹,这叫 γ 射线探伤 。利用放射线的贯穿本领了解物体的厚度和密度的关系,可以用放射性同位素来检查各种产品的厚度、密封容器中的液面高度,从而自动控制生产过程。再如利用 α 射线的电离作用,可以消除机器在运转中因摩擦而产生的有害静电;利用射线杀死人体内的癌细胞等。

2.作为示踪原子

在生物科学研究方面,示踪原子起着十分重要的作用。在对输油管线漏油情况的检查和对植物生长的检测方面,示踪原子同样起着重要作用。

例 3　在轧制钢板时需要动态地监测钢板厚度,其检测装置由放射源、探测器等构成,如图所示。该装置中探测器接收到的是　(　　)



A.X 射线　　B.α 射线
C.β 射线　　D.γ 射线

解析　放射源发出的只有 α、β、γ 三种射线,故选项 A 错误。在 α、β、γ 三种射线中,只有 γ 射线能穿透钢板,故选项 B、C 错误、D 正确。

答案　D

考点集训

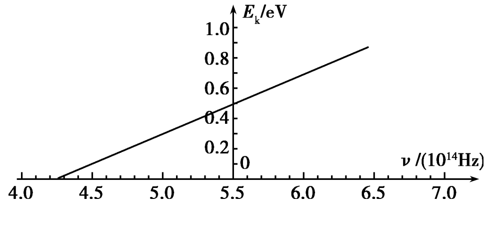
对应学生用书起始页码 152

考点一　波粒二象性

1.关于光电效应,下列说法正确的是　(　　)
A.截止频率越大的金属材料逸出功越大
B.只要光照射的时间足够长,任何金属都能产生光电效应
C.从金属表面出来的光电子的最大初动能越大,这种金属的逸出功越小
D.入射光的光强一定时,频率越高,单位时间内逸出的光电子数就越多

答案　A　逸出功 $W_0=h\nu_c$,$W_0\propto\nu_c$,ν_c 为截止频率,A 正确;当照射光的频率 ν 小于金属的截止频率 ν_c 时,不能产生光电效应现象,B 错;由光电效应方程 $E_k=h\nu-W_0$ 知,ν 不确定时,无法确定 E_k 与 W_0 的关系,C 错;光强 $E=nh\nu$,E 一定,ν 越大,则光子数 n 越小,单位时间内逸出的光电子数就越少,D 错。故选 A。

2.(2020 届甘肃兰州摸底,7)(多选)如图所示是用光照射某种金属时逸出的光电子的最大初动能随入射光频率的变化图线,普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$ J·s,由图可知　(　　)

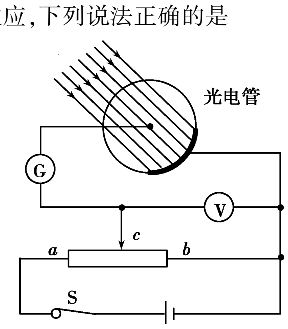


A.该金属的极限频率为 4.27×10^{14} Hz
B.该金属的极限频率为 5.5×10^{14} Hz
C.该图线的斜率表示普朗克常量
D.该金属的逸出功为 0.5 eV

答案　AC　本题考查了光电效应方程及其规律,体现了科学思维中的科学推理要素。

由光电效应方程 $E_k=h\nu-W_0$ 知图线与横轴交点为金属的极限频率,即 $\nu_c=4.27\times10^{14}$ Hz,A 正确,B 错误;由 $E_k=h\nu-W_0$ 可知,该图线的斜率表示普朗克常量,C 正确;金属的逸出功 $W_0=h\nu_c=\dfrac{6.63\times10^{-34}\times4.27\times10^{14}}{1.6\times10^{-19}}$ eV≈1.8 eV,D 错误。

3.利用光电管可以把光信号转变为电信号,现把光电管接入如图所示的电路中,闭合开关 S,用波长为 λ 的单色光照射光电管时发生了光电效应,下列说法正确的是　(　　)



A.照射光电管的单色光越强,光电管中金属的逸出功越大

B.照射光电管的单色光波长越长,光电管中金属的逸出功越大

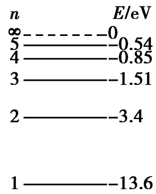
C.若把滑片 c 向左滑动,电流表 G 的示数一定增大

D.若把电源正负极反接,电流表 G 的示数可能为零

答案 **D** 光电管中金属的逸出功与入射光的强弱和波长无关,由金属本身决定,选项 A、B 错误;若光电流达到了饱和值,把滑片 c 向左滑动,电流不会随电压的增大而增大,选项 C 错误;若把电源正负极反接,当光电管两端所加的电压与电子电荷量的乘积大于光电子的最大初动能时,光电子不能到达阳极,光电流为 0,选项 D 正确。故选 D。

考点二 原子、原子核

1.(2018 安徽 A10 联盟联考)如图所示为氢原子的能级图,已知金属铂的逸出功为 6.34 eV,则下列说法正确的是 ( )



A.处于基态的氢原子可以吸收能量为 10.5 eV 的光子而被激发

B.用 $n=4$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级辐射的光照射金属铂能发生光电效应

C.用能量为 12.5 eV 的电子轰击处于基态的氢原子,一定不能使氢原子发生能级跃迁

D.要使处于基态的氢原子发生电离,入射光子的能量只能等于 13.6 eV

答案 **B** 氢原子发生能级跃迁时,其只能吸收(或辐射)光子能量等于两能级间的能级差的光子,$n=1\rightarrow n=2$ 吸收的光子能量为 -3.4 eV$-(-13.6$ eV$)=10.2$ eV,$n=1\rightarrow n=3$ 吸收的光子能量为 -1.51 eV$-(-13.6$ eV$)=12.09$ eV,能量为 10.5 eV 的光子不能被吸收,A 错误;从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级辐射光子的能量为 -0.85 eV$-(-13.6$ eV$)=12.75$ eV,大于金属铂的逸出功,能使金属铂发生光电效应,B 正确;用能量为 12.5 eV 的电子轰击处于基态的氢原子,可能使氢原子发生能级跃迁,C 错误;入射光子的能量大于 13.6 eV 时,可使处于基态的氢原子发生电离,D 错误。

2.(2020 届山西运城摸底,14)一个静止的氮核 ${}^{14}_{7}N$ 俘获一个速度为 1.1×10^{7} m/s 的氦核变成 B、C 两个新核,设 B 的速度方向与氦核速度方向相同、大小为 4×10^{6} m/s,B 的质量数是 C 的 17 倍,B、C 两原子核的电荷数之比为 8∶1。

(1)写出核反应方程;

(2)估算 C 核的速度大小。

答案 (1)${}^{14}_{7}N+{}^{4}_{2}He\rightarrow{}^{17}_{8}O+{}^{1}_{1}H$ (2)2.4×10^{7} m/s

解析 本题考查原子核反应规律,体现了物理观念中能量要素。

(1)根据电荷数守恒得,B、C 电荷数之和为 9,因为 B、C 两原子核的电荷数之比为 8∶1,则 B 的电荷数为 8,C 的电荷数为 1。根据质量数守恒得,B、C 质量数之和为 18,因为 B 的质量数是 C 的 17 倍,则 B 的质量数为 17,C 的质量数为 1,所以 C 为质子。

故核反应方程为:${}^{14}_{7}N+{}^{4}_{2}He\rightarrow{}^{17}_{8}O+{}^{1}_{1}H$。

(2)设氦核的速度方向为正方向,根据动量守恒定律得

$m_{He}v_{He}=m_Bv_B+m_Cv_C$

计算得出 $v_C=-2.4\times10^{7}$ m/s

故 C 的速度方向与氦核相反,大小为 2.4×10^{7} m/s

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧

对应学生用书起始页码 153

方法 原子核的衰变规律及衰变次数的计算方法

1.衰变:放射性元素的原子核由于放出某种粒子而转变为新核的变化称为衰变。

2.衰变规律:电荷数和质量数都守恒。

(1)α 衰变:${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A-4}_{Z-2}Y+{}^{4}_{2}He$,α 衰变的实质是某元素的原子核放出由两个质子和两个中子组成的粒子(即氦核)。

(2)β 衰变:${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A}_{Z+1}Y+{}^{0}_{-1}e$,β 衰变的实质是某元素的原子核内的一个中子变为一个质子时放射出一个电子。

(3)γ 辐射:γ 辐射是伴随 α 衰变或 β 衰变发生的。γ 辐射不改变原子核的电荷数和质量数。其实质是放射性原子核在发生 α 衰变或 β 衰变时,产生的某些新核由于具有过多的能量(核处于激发态)而辐射出光子。

3.半衰期及确定衰变次数的方法

(1)半衰期:放射性元素的原子核有半数发生衰变需要的时间,叫做这种元素的半衰期。

说明 半衰期是由放射性元素的原子核内部本身的因素决定的,跟原子所处的物理状态(如压强、温度等)和化学状态(如单质或化合物)无关。半衰期只对大量原子核衰变才有意义,因为放射性元素的衰变规律是统计规律,对少数原子核衰变不再适用。

(2)确定衰变次数的方法:设放射性元素 ${}^{A}_{Z}X$ 经过 m 次 α 衰变、n 次 β 衰变后,变成稳定的新元素 ${}^{A'}_{Z'}Y$,则表示核反应的方程为 ${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A'}_{Z'}Y+m{}^{4}_{2}He+n{}^{0}_{-1}e$。

根据电荷数守恒和质量数守恒可列方程

$A=A'+4m$,$Z=Z'+2m-n$

两式联立得 $m=\dfrac{A-A'}{4}$,$n=\dfrac{A-A'}{2}+Z'-Z$

例 ${}^{235}_{92}U$ 经过 m 次 α 衰变和 n 次 β 衰变,变成 ${}^{207}_{82}Pb$ 则 ( )

A.$m=7,n=3$　　B.$m=7,n=4$

C.$m=14,n=9$　　D.$m=14,n=18$

解析 本题考查了原子核的衰变规律,体现了物理观念中的能量要素。

根据题意知核反应方程为 ${}^{235}_{92}U\rightarrow{}^{207}_{82}Pb+m{}^{4}_{2}He+n{}^{0}_{-1}e$,根据电荷数守恒和质量数守恒可得,$235=207+4m$,$92=82+2m-n$。联立解得 $m=7$,$n=4$,选项 B 正确。

答案 **B**

方法集训

对应学生用书起始页码 153

方法　原子核的衰变规律及衰变次数的计算方法

1.(2018 山西太原一模)(多选)下列说法正确的是　(　　)

A.铀 238 发生 α 衰变变成钍 234 时,α 粒子与钍 234 的质量之和等于铀 238 的质量

B.铀 238 发生 α 衰变变成钍 234 时,α 粒子与钍 234 的结合能之和一定大于铀 238 的结合能

C.β 衰变中释放的 β 射线是原子核外电子挣脱原子核的束缚形成的高速电子流

D.核反应方程 $^{14}_{7}N+^{4}_{2}He\rightarrow^{17}_{8}O+X$ 中,X 是质子且反应过程中系统动量守恒

答案　BD　铀 238 发生 α 衰变时有质量亏损,故 A 错误;铀 238 发生 α 衰变变成钍 234 时,α 粒子和钍 234 的结合能之和一定大于铀 238 的结合能,故 B 正确。β 衰变的实质是原子核内部的一个中子变成一个质子和一个电子,并将电子发射到核外,形成 β 射线,故 C 错误。在核反应中质量数守恒,电荷数守恒,设 X 的质量数为 m,电荷数为 n,则有 $4+14=17+m$,$2+7=8+n$,解得:$m=1$,$n=1$,所以 X 表示质子,核反应过程中系统动量守恒,故 D 正确。

2.(2019 陕西第二次联考,1)关于天然放射现象,以下叙述正确的是　(　　)

A.若使放射性物质的温度升高,其半衰期将减小

B.β 衰变中释放出电子说明原子核内有电子

C.在 α、β 衰变中伴随产生 γ 射线,衰变前后的核子数不变但存在质量亏损

D.铀核($^{238}_{92}U$)衰变为铅核($^{206}_{82}Pb$)的过程中,要经过 8 次 α 衰变和 10 次 β 衰变

答案　C　半衰期由原子核自身决定,与外界因素无关,故 A 错误;β 衰变所释放的电子是原子核内的中子转变为质子时产生的,故 B 错误;在 α、β 衰变中伴随产生 γ 射线,衰变前后产物的核子总数守恒,但伴随释放能量,根据 $\Delta E=\Delta mc^2$ 可知,反应前后存在质量亏损,故 C 正确;由质量数守恒知 $238=206+4\times8$,经过 8 次 α 衰变,再由电荷数守恒知 $82=92-2\times8+6$,经过 6 次 β 衰变,故 D 错误。所以选 C。

考查点　天然放射现象

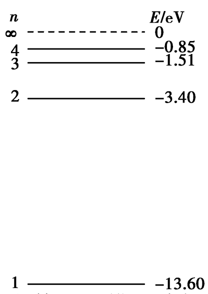
温馨提示　计算衰变时应先计算 α 衰变次数再计算 β 衰变次数。

2015-2019 5年高考

对应学生用书起始页码 269

A 组　基础题组

1.(2019 课标Ⅰ,14,6 分)氢原子能级示意图如图所示。光子能量在 1.63 eV ~ 3.10 eV的光为可见光。要使处于基态($n=1$)的氢原子被激发后可辐射出可见光光子,最少应给氢原子提供的能量为　(　　)



A.12.09 eV　　B.10.20 eV

C.1.89 eV　　D.1.51 eV

答案　A　本题考查原子的能级跃迁问题,体现了模型建构的核心素养。

由题图数据分析可知,只有氢原子从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$能级辐射出的光子能量在可见光光子能量范围内,所以处于基态($n=1$)的氢原子最少也要跃迁到 $n=3$ 能级,氢原子吸收的能量最少为 $\Delta E=E_3-E_1=12.09$ eV,故选 A。

易错警示　本题易错选 C,没有注意到氢原子原本处于“基态($n=1$)”。

2.(2019 北京理综,19,6 分)光电管是一种利用光照射产生电流的装置,当入射光照在管中金属板上时,可能形成光电流。表中给出了 6 次实验的结果。

组	次	入射光子的能量/eV	相对光强	光电流大小/mA	逸出光电子的最大动能/eV
第一组	1	4.0	弱	29	0.9
	2	4.0	中	43	0.9
	3	4.0	强	60	0.9
第二组	4	6.0	弱	27	2.9
	5	6.0	中	40	2.9
	6	6.0	强	55	2.9

由表中数据得出的论断中不正确的是　(　　)

A.两组实验采用了不同频率的入射光

B.两组实验所用的金属板材质不同

C.若入射光子的能量为 5.0 eV,逸出光电子的最大动能为 1.9 eV

D.若入射光子的能量为 5.0 eV,相对光强越强,光电流越大

答案　B　本题考查了光电管在光照下产生光电流的现象和考生的实验数据分析能力,培养了考生的科学推理素养。

表格中入射光子的能量不同,根据光子的能量 $E=h\nu$ 可知两组实验采用的入射光的频率不同,再由光电效应方程解得两组实验中金属的逸出功都是 3.1 eV,所以 A 选项正确,B 选项不正确。当入射光子的能量为 5.0 eV 时,$E_{km}=h\nu-W=1.9$ eV,故 C 选项正确。当入射光子的能量为 5.0 eV 时,相对光强越强,单位时间内飞出的光电子越多,光电流越大,所以 D 项正确。

解题关键　认真分析题中所给的数据,利用光电效应方程计算逸出功和最大初动能。

3.(2018 课标Ⅱ,17,6 分)用波长为 300 nm 的光照射锌板,电子逸出锌板表面的最大初动能为 1.28×10^{-19} J。已知普朗克常量为 6.63×10^{-34} J·s,真空中的光速为 3.00×10^{8} m·s^{-1}。能使锌产生光电效应的单色光的最低频率约为　(　　)

A.1×10^{14} Hz　　B.8×10^{14} Hz

C.2×10^{15} Hz　　D.8×10^{15} Hz

答案　B　本题考查光电效应规律。由光电效应方程得 $E_k=\dfrac{hc}{\lambda}-W_0$,而能使锌产生光电效应的单色光的最低频率 ν_0 应满足 $h\nu_0=W_0$,联立得 $\nu_0=\dfrac{c}{\lambda}-\dfrac{E_k}{h}=8\times10^{14}$ Hz,故选项 B 正确。

方法技巧　光电效应现象的判断

能使金属产生光电效应的单色光的最低频率即恰好发生光电效应的条件:照射光的能量等于金属的逸出功。

4.(2017课标Ⅲ,19,6分)(多选)在光电效应实验中,分别用频率为ν_a、ν_b的单色光a、b照射到同种金属上,测得相应的遏止电压分别为U_a和U_b、光电子的最大初动能分别为E_{ka}和E_{kb}。h为普朗克常量。下列说法正确的是 ( )

A.若$\nu_a>\nu_b$,则一定有$U_a<U_b$

B.若$\nu_a>\nu_b$,则一定有$E_{ka}>E_{kb}$

C.若$U_a<U_b$,则一定有$E_{ka}<E_{kb}$

D.若$\nu_a>\nu_b$,则一定有$h\nu_a-E_{ka}>h\nu_b-E_{kb}$

答案 BC 本题考查光电效应方程、对遏止电压的理解。光照射到同种金属上,同种金属的逸出功相同。若$\nu_a>\nu_b$,据$E_k=h\nu-W_0$可知,$E_{ka}>E_{kb}$,则B项正确。由$E_k=eU$,可知$U_a>U_b$,则A项错误。若$U_a<U_b$,说明$E_{ka}<E_{kb}$,则C项正确。由$E_k=h\nu-W_0$得$h\nu-E_k=W_0$,而同一种金属W_0相同,与入射光的频率无关,故$h\nu_a-E_{ka}=h\nu_b-E_{kb}$,则D项错误。

归纳总结 对光子能量、逸出功及最大初动能的理解

①同一种金属逸出功相同,与入射光的频率无关。

②遏止电压只与光电子的最大初动能有关:$eU=E_k$。

③光电效应方程:$h\nu-W_0=E_k$。

5.[2015课标Ⅱ,35(1),5分](多选)实物粒子和光都具有波粒二象性。下列事实中突出体现波动性的是 ( )

A.电子束通过双缝实验装置后可以形成干涉图样

B.β射线在云室中穿过会留下清晰的径迹

C.人们利用慢中子衍射来研究晶体的结构

D.人们利用电子显微镜观测物质的微观结构

E.光电效应实验中,光电子的最大初动能与入射光的频率有关,与入射光的强度无关

答案 ACD 电子束通过双缝产生干涉图样,体现的是波动性,A正确;β射线在云室中留下清晰的径迹,不能体现波动性,B错误;衍射体现的是波动性,C正确;电子显微镜利用了电子束波长短的特性,D正确;光电效应体现的是光的粒子性,E错误。

6.(2018课标Ⅲ,14,6分)1934年,约里奥-居里夫妇用α粒子轰击铝核$^{27}_{13}Al$,产生了第一个人工放射性核素X:$\alpha+^{27}_{13}Al\to n+X$。X的原子序数和质量数分别为 ( )

A.15和28 B.15和30 C.16和30 D.17和31

答案 B 本题考查核反应方程。在核反应过程中,质量数和电荷数分别守恒,则X的原子序数为2+13=15,X的质量数为4+27-1=30,选项B正确。

规律总结 核反应方程的特点

核反应过程中,质量数和电荷数分别守恒。

7.(2017课标Ⅱ,15,6分)一静止的铀核放出一个α粒子衰变成钍核,衰变方程为$^{238}_{92}U\to^{234}_{90}Th+^{4}_{2}He$。下列说法正确的是( )

A.衰变后钍核的动能等于α粒子的动能

B.衰变后钍核的动量大小等于α粒子的动量大小

C.铀核的半衰期等于其放出一个α粒子所经历的时间

D.衰变后α粒子与钍核的质量之和等于衰变前铀核的质量

答案 B 本题考查天然放射现象、半衰期、核反应中的动量守恒、质量亏损,考查学生的理解能力。静止的原子核在衰变前后动量守恒,由动量守恒定律得$0=m_1v_1+m_2v_2$,可知$m_1v_1=-m_2v_2$,故衰变后钍核的动量大小等于α粒子的动量大小,选项B正确;动能$E_k=\frac{p^2}{2m}$,由于钍核的质量(m_1)大于α粒子的质量(m_2),故动能不等,选项A错误;铀核的半衰期是指大量的铀核半数发生衰变所用的时间,而不是放出一个α粒子所经历的时间,选项C错误;原子核衰变前后质量数守恒,衰变时放出核能,质量亏损,选项D错误。

解题关键 原子核衰变前后动量守恒、质量数和电荷数守恒;动能和动量与质量的关系;半衰期的定义及其含义。

8.[2016课标Ⅲ,35(1),5分](多选)一静止的铝原子核$^{27}_{13}Al$俘获一速度为1.0×10^7 m/s的质子p后,变为处于激发态的硅原子核$^{28}_{14}Si^*$。下列说法正确的是 ( )

A.核反应方程为$p+^{27}_{13}Al\to^{28}_{14}Si^*$

B.核反应过程中系统动量守恒

C.核反应过程中系统能量不守恒

D.核反应前后核子数相等,所以生成物的质量等于反应物的质量之和

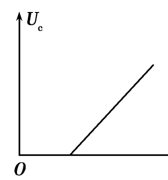
E.硅原子核速度的数量级为10^5 m/s,方向与质子初速度的方向一致

答案 ABE 质子p即^1_1H,核反应方程为$p+^{27}_{13}Al\to^{28}_{14}Si^*$,A项正确;核反应过程遵循动量守恒定律,B项正确;核反应过程中系统能量守恒,C项错误;在核反应中质量数守恒,但会发生质量亏损,所以D项错误;设质子的质量为m,则$^{28}_{14}Si^*$质量为$28m$,由动量守恒定律有$mv_0=28mv$,得$v=\frac{v_0}{28}=\frac{1.0\times10^7}{28}$ m/s≈3.6×10^5 m/s,方向与质子的初速度方向相同,故E项正确。

规律总结 核反应过程遵守动量守恒定律,核反应中质量数守恒,电荷数守恒,但会发生质量亏损。

评析 本题考查核反应过程所遵循的规律及动量守恒定律,难度较易。

9.[2015课标Ⅰ,35(1),5分]在某次光电效应实验中,得到的遏止电压U_c与入射光的频率ν的关系如图所示。若该直线的斜率和截距分别为k和b,电子电荷量的绝对值为e,则普朗克常量可表示为________,所用材料的逸出功可表示为________。



答案 ek(2分) $-eb$(3分)

解析 根据爱因斯坦光电效应方程有$E_{km}=h\nu-W_0$,又因为$E_{km}=eU_c$,得到$U_c=\frac{h}{e}\nu-\frac{W_0}{e}$,所以$\frac{h}{e}=k$,$h=ek$;$-\frac{W_0}{e}=b$,$W_0=-eb$。

10.[2019江苏单科,12(3)]在"焊接"视网膜的眼科手术中,所用激光的波长$\lambda=6.4\times10^{-7}$ m,每个激光脉冲的能量$E=1.5\times10^{-2}$ J。求每个脉冲中的光子数目。(已知普朗克常量$h=6.63\times10^{-34}$ J·s,光速$c=3\times10^8$ m/s。计算结果保留一位有效数字)

答案 5×10^{16}

解析 本题考查了光的波粒二象性中粒子性问题,考查了学生的理解能力,体现了物理观念中能量观念的素养要素,渗透了关注社会发展、科技进步、生产生活的价值观念。

光子能量$\varepsilon=\frac{hc}{\lambda}$,光子数目$n=\frac{E}{\varepsilon}$,代入数据得$n=5\times10^{16}$。

B组　提升题组

1.（2019 课标Ⅱ,15,6 分）太阳内部核反应的主要模式之一是质子—质子循环，循环的结果可表示为

$$4{}_{1}^{1}\mathrm{H}\rightarrow{}_{2}^{4}\mathrm{He}+2{}_{1}^{0}\mathrm{e}+2\nu$$

已知${}_{1}^{1}\mathrm{H}$和${}_{2}^{4}\mathrm{He}$的质量分别为$m_p=1.007\ 8\ \mathrm{u}$和$m_\alpha=4.002\ 6\ \mathrm{u}$，$1\ \mathrm{u}=931\ \mathrm{MeV}/c^2$，$c$为光速。在 4 个${}_{1}^{1}\mathrm{H}$转变成 1 个${}_{2}^{4}\mathrm{He}$的过程中，释放的能量约为（　　）

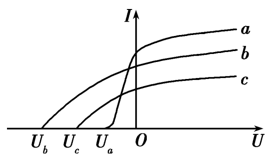
A.8 MeV　　B.16 MeV　　C.26 MeV　　D.52 MeV

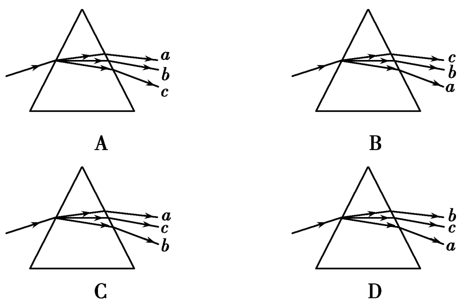
答案　C　本题考查了学生对核反应中核能的计算能力，体现了学科素养中的物理观念。

由核反应方程可知，4 个${}_{1}^{1}\mathrm{H}$转变成 1 个${}_{2}^{4}\mathrm{He}$的过程中的质量亏损$\Delta m\approx4\times1.007\ 8\ \mathrm{u}-4.002\ 6\ \mathrm{u}=0.028\ 6\ \mathrm{u}$，释放的核能$\Delta E=\Delta mc^2=0.028\ 6\times931\ \mathrm{MeV}\approx26.6\ \mathrm{MeV}$，故选项 C 正确。

解题关键　本题为估算题，因电子质量很小，约为$\frac{1}{1\ 836}$ u，故在计算的过程中不需纠结，应大胆忽略。

2.（2019 天津理综,5,6 分）图为 a、b、c 三种光在同一光电效应装置中测得的光电流和电压的关系。由 a、b、c 组成的复色光通过三棱镜时，下述光路图中正确的是（　　）





答案　C　本题考查了考生的科学思维能力，体现了应用与创新价值观念。

由题述“同一光电效应装置”可知金属的逸出功相同，再由$I-U$图像中遏止电压关系得知三种光的频率$\nu_b>\nu_c>\nu_a$，则三种光在三棱镜中的折射率$n_b>n_c>n_a$，据此可判断通过棱镜后光的折射情况，C 选项正确，A、B、D 项均错误。

解题关键　从图像中分析出三种光的频率关系，从而得出它们在三棱镜中的折射率的大小关系。

3.（2019 天津理综,6,6 分）（多选）我国核聚变反应研究大科学装置“人造太阳”2018 年获得重大突破，等离子体中心电子温度首次达到 1 亿摄氏度，为人类开发利用核聚变能源奠定了重要的技术基础。下列关于聚变的说法正确的是（　　）



A.核聚变比核裂变更为安全、清洁

B.任何两个原子核都可以发生聚变

C.两个轻核结合成质量较大的核，总质量较聚变前增加

D.两个轻核结合成质量较大的核，核子的比结合能增加

答案　AD　本题以“人造太阳”为背景，考查核聚变反应，以及学生的理解能力，体现了科学态度与社会责任的核心素养，也体现了应用与创新的价值观念。

因为重核裂变后，产物中存在不稳定的核，而且放射性产物较多，轻核聚变与之相比更安全、清洁，所以 A 项正确。轻原子核才会发生聚变，所以 B 项错误。核反应过程中存在质量亏损，释放能量，所以 C 项错误。核反应后产生的新核相对稳定，比结合能增加，故 D 项正确。

试题分析　通过科学实践透彻分析了核反应，并考查了重核裂变和轻核聚变的特点、区别等。

4.［2016 课标Ⅰ,35(1),5 分］（多选）现用某一光电管进行光电效应实验，当用某一频率的光入射时，有光电流产生。下列说法正确的是（　　）

A.保持入射光的频率不变，入射光的光强变大，饱和光电流变大

B.入射光的频率变高，饱和光电流变大

C.入射光的频率变高，光电子的最大初动能变大

D.保持入射光的光强不变，不断减小入射光的频率，始终有光电流产生

E.遏止电压的大小与入射光的频率有关，与入射光的光强无关

答案　ACE　保持入射光的频率不变，入射光的光强变大，单位时间内逸出的光电子个数增加，则饱和光电流变大，故 A 正确。饱和光电流的大小与入射光的频率无直接关系，故 B 错。由$E_k=h\nu-W$，可知 C 正确。当入射光的频率小于金属的极限频率时，光电效应不能发生，故 D 错。由$eU=\frac{1}{2}mv^2=h\nu-W$得$eU=h\nu-W$，可见，遏止电压 U 随 ν 的增大而增大，与入射光的光强无关，故 E 正确。

知识归纳　关于光电效应的问题，熟练掌握以下关系式很重要：①$h\nu=W+\frac{1}{2}mv^2$；②$h\nu_0=W$；③$eU=\frac{1}{2}mv^2$。

5.（2017 课标Ⅰ,17,6 分）大科学工程“人造太阳”主要是将氘核聚变反应释放的能量用来发电。氘核聚变反应方程是：${}_{1}^{2}\mathrm{H}+{}_{1}^{2}\mathrm{H}\rightarrow{}_{2}^{3}\mathrm{He}+{}_{0}^{1}\mathrm{n}$。已知${}_{1}^{2}\mathrm{H}$的质量为 2.013 6 u，${}_{2}^{3}\mathrm{He}$的质量为 3.015 0 u，${}_{0}^{1}\mathrm{n}$的质量为 1.008 7 u，$1\ \mathrm{u}=931\ \mathrm{MeV}/c^2$。氘核聚变反应中释放的核能约为（　　）

A.3.7 MeV　　B.3.3 MeV

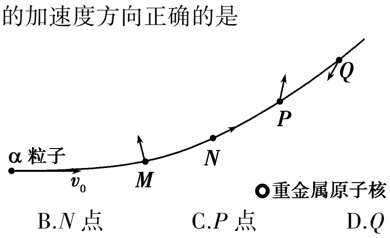
C.2.7 MeV　　D.0.93 MeV

答案　B　本题考查核能的计算。聚变反应中的质量亏损为$\Delta m=(2\times2.013\ 6-3.015\ 0-1.008\ 7)\ \mathrm{u}=0.003\ 5\ \mathrm{u}$，则释放的核能为$\Delta E=\Delta mc^2=0.003\ 5\times931\ \mathrm{MeV}\approx3.3\ \mathrm{MeV}$，B 正确。

方法技巧　由质量亏损计算核能

由 Δm 计算核反应过程中释放的核能时，若 Δm 以 u 为单位，可由$1\ \mathrm{u}=931\ \mathrm{MeV}/c^2$，得到释放的以 MeV 为单位的核能；若 Δm 以 kg 为单位，则由质能方程$\Delta E=\Delta mc^2$获得以 J 为单位的释放的核能。

6.（2015 安徽理综,14,6 分）图示是 α 粒子（氦原子核）被重金属原子核散射的运动轨迹，M、N、P、Q 是轨迹上的四点，在散射过程中可以认为重金属原子核静止不动。图中所标出的 α 粒子在各点处的加速度方向正确的是（　　）



A.M 点　　B.N 点　　C.P 点　　D.Q 点

答案　C　α 粒子与重金属原子核带同种电荷，由于库仑力作用，α 粒子在运动过程中发生偏转，由牛顿第二定律可知，α 粒子的加速度方向为其所受库仑力方向，指向轨迹弯曲方向的内侧，故图中 P 点所示加速度方向正确，选项 C 正确。

7.（2018 天津理综,5,6 分）氢原子光谱在可见光区域内有四条谱线 H_α、H_β、H_γ 和 H_δ，都是氢原子中电子从量子数 $n>2$ 的能级跃迁到 $n=2$ 的能级时发出的光，它们在真空中的波长由长到短，可以判定（　　）

A.H_{α} 对应的前后能级之差最小

B.同一介质对 H_{α} 的折射率最大

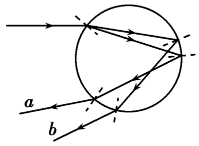
C.同一介质中 H_{δ} 的传播速度最大

D.用 H_{γ} 照射某一金属能发生光电效应,则 H_{β} 也一定能

答案 A 本题考查氢原子能级跃迁规律。由氢原子能级跃迁可知,$\frac{hc}{\lambda}=E_n-E_2$,$H_{\alpha}$ 的波长最长,故$\frac{hc}{\lambda_{\alpha}}$最小,对应能级差最小,选项 A 正确;同一介质对频率越大的光的折射率越大,波长越短,频率越大,故同一介质对 H_{α} 的折射率最小而对 H_{δ} 的折射率最大,选项 B 错误;由 $n=\frac{c}{v}$知,同一介质中 H_{δ} 的传播速度最小,选项 C 错误;H_{γ} 的频率大于 H_{β} 的频率,因此用 H_{γ} 照射某一金属能发生光电效应,而 H_{β} 不一定能,故选项 D 错误。

解题关键 熟练掌握氢原子能级跃迁产生光子的能量 $h\nu=\frac{hc}{\lambda}=E_m-E_n$ 和光的频率或波长与折射率的关系是解答该题的关键。

8.(2015 天津理综,2,6 分)中国古人对许多自然现象有深刻认识,唐人张志和在《玄真子·涛之灵》中写道:“雨色映日而为虹”。从物理学角度看,虹是太阳光经过雨滴的两次折射和一次反射形成的。如图是彩虹成因的简化示意图,其中 a、b 是两种不同频率的单色光,则两光 ( )



A.在同种玻璃中传播,a 光的传播速度一定大于 b 光

B.以相同角度斜射到同一玻璃板透过平行表面后,b 光侧移量大

C.分别照射同一光电管,若 b 光能引起光电效应,a 光也一定能

D.以相同的入射角从水中射入空气,在空气中只能看到一种光时,一定是 a 光

答案 C 根据光路图可知,a 光的折射率大于 b 光的折射率。由 $n=\frac{c}{v}$可知,在同种玻璃中,a 光的传播速度应小于 b 光,A 项错误;以相同角度斜射到同一玻璃板透过平行表面后,由于 a 光的折射率大,偏折程度大,a 光侧移量大,B 项错误;折射率大的 a 光频率也高,所以分别照射同一光电管,若 b 光能引起光电效应,a 光也一定能,C 项正确;由于 b 光的折射率小,b 光从光密介质射向光疏介质发生全反射的临界角大,当 a、b 光以相同的入射角从水中射入空气时,若在空气中只能看到一种光,说明该光未发生全反射,所以一定是 b 光,D 项错误。

9.[2016 课标Ⅱ,35(1),5 分]在下列描述核反应过程的方程中,属于α衰变的是______,属于β衰变的是______,属于裂变的是______,属于聚变的是______。(填正确答案标号)

A.${}^{14}_{6}C\to{}^{14}_{7}N+{}^{0}_{-1}e$

B.${}^{32}_{15}P\to{}^{32}_{16}S+{}^{0}_{-1}e$

C.${}^{238}_{92}U\to{}^{234}_{90}Th+{}^{4}_{2}He$

D.${}^{14}_{7}N+{}^{4}_{2}He\to{}^{17}_{8}O+{}^{1}_{1}H$

E.${}^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n\to{}^{140}_{54}Xe+{}^{94}_{38}Sr+2{}^{1}_{0}n$

F.${}^{3}_{1}H+{}^{2}_{1}H\to{}^{4}_{2}He+{}^{1}_{0}n$

答案 C AB E F

解析 天然放射性元素自发地放出α粒子(即氦核${}^{4}_{2}He$)的衰变属于α衰变;放出β粒子的衰变属于β衰变;重核分裂成几个中等质量原子核的现象为核裂变;轻原子核聚合成较重原子核的反应为核聚变。

反思总结 原子核的变化有衰变、人工转变、裂变和聚变四种,识记常见的变化规律可使问题迎刃而解。

C组 教师专用题组

1.(2018 天津理综,1,6 分)国家大科学工程——中国散裂中子源(CSNS)于 2017 年 8 月 28 日首次打靶成功,获得中子束流,可以为诸多领域的研究和工业应用提供先进的研究平台。下列核反应中放出的粒子为中子的是 ( )



A.${}^{14}_{7}N$ 俘获一个α粒子,产生${}^{17}_{8}O$ 并放出一个粒子

B.${}^{27}_{13}Al$ 俘获一个α粒子,产生${}^{30}_{15}P$ 并放出一个粒子

C.${}^{11}_{5}B$ 俘获一个质子,产生${}^{8}_{4}Be$ 并放出一个粒子

D.${}^{6}_{3}Li$ 俘获一个质子,产生${}^{3}_{2}He$ 并放出一个粒子

答案 B 本题考查核反应方程。由核反应过程中遵循质量数、电荷数均守恒的原则,可写出选项中的四个核反应方程。${}^{14}_{7}N+{}^{4}_{2}He\to{}^{17}_{8}O+{}^{1}_{1}H$,选项 A 错误。${}^{27}_{13}Al+{}^{4}_{2}He\to{}^{30}_{15}P+{}^{1}_{0}n$,选项 B 正确。${}^{11}_{5}B+{}^{1}_{1}H\to{}^{8}_{4}Be+{}^{4}_{2}He$,选项 C 错误。${}^{6}_{3}Li+{}^{1}_{1}H\to{}^{3}_{2}He+{}^{4}_{2}He$,选项D 错误。

解题关键 核反应中的两守恒

根据核反应过程中质量数和电荷数均守恒的原则,写出核反应方程,同时应熟记几种常用的微观粒子的表示方法。

2.(2017 天津理综,1,6 分)我国自主研发制造的国际热核聚变核心部件在国际上率先通过权威机构认证,这是我国对国际热核聚变项目的重大贡献。下列核反应方程中属于聚变反应的是 ( )



A.${}^{2}_{1}H+{}^{3}_{1}H\to{}^{4}_{2}He+{}^{1}_{0}n$

B.${}^{14}_{7}N+{}^{4}_{2}He\to{}^{17}_{8}O+{}^{1}_{1}H$

C.${}^{4}_{2}He+{}^{27}_{13}Al\to{}^{30}_{15}P+{}^{1}_{0}n$

D.${}^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n\to{}^{144}_{56}Ba+{}^{89}_{36}Kr+3{}^{1}_{0}n$

答案 A 本题考查核反应类型。选项 A 是质量小的核结合成质量较大的核,属于核聚变。选项 B 是卢瑟福发现质子的人工转变方程。选项 C 是约里奥·居里夫妇发现人工放射性同位素的人工转变方程。选项 D 是铀核在中子轰击下分裂为中等质量的核的过程,属于核裂变。

易混点拨 轻核聚变与人工转变

从本质过程来看,轻核聚变是质量较小的原子核在高温下或在高压下接近到核力能发生作用的范围时,在核力作用下结合为质量较大的原子核,同时放出能量;人工转变是在高速粒子的轰击下使靶核发生转变,同时被击出某种粒子,此过程中通常要吸收能量。从方程形式来看,二者相近,不易区分。可通过典型人工转变方程的记忆来解决,几种典型人工转变是发现质子、中子、放射性同位素与正电子的核反应。

3.(2015 天津理综,1,6 分)物理学重视逻辑,崇尚理性,其理论总是建立在对事实观察的基础上。下列说法正确的是 ( )

A.天然放射现象说明原子核内部是有结构的

B.电子的发现使人们认识到原子具有核式结构
C.α 粒子散射实验的重要发现是电荷是量子化的
D.密立根油滴实验表明核外电子的轨道是不连续的

答案　A　α 粒子散射实验的重要发现使人们认识到原子具有核式结构，B、C 项错误；密立根的油滴实验测出了电子的电荷量，D 项错误。

4.(2016 天津理综,2,6 分) 如图是 a、b 两光分别经过同一双缝干涉装置后在屏上形成的干涉图样，则　(　　)


a 光的干涉图样


b 光的干涉图样

A.在同种均匀介质中，a 光的传播速度比 b 光的大
B.从同种介质射入真空发生全反射时 a 光临界角大
C.照射在同一金属板上发生光电效应时，a 光的饱和电流大
D.若两光均由氢原子能级跃迁产生，产生 a 光的能级能量差大

答案　D　由 a、b 两束光的干涉图样结合 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 知，$\lambda_a<\lambda_b$，则 $\nu_a>\nu_b$、$n_a>n_b$，由 $n=\frac{c}{v}$ 知 $v_a<v_b$，A 项错误。$\sin C=\frac{1}{n}$，故 $C_a<C_b$，选项 B 错误；发生光电效应时，饱和电流与入射光的强度有关，C 项错误；由能级跃迁 $h\nu=E_m-E_n$，由于 a 光的光子能量大，因此产生 a 光的能级能量差大，选项 D 正确。

易错点拨　由干涉图样中条纹的宽度确定波长、折射率、频率的关系，易错点在于认为饱和电流与光的频率有关而错选 C 选项。

评析　本题以光的双缝干涉图样为背景材料，综合考查双缝干涉、折射率、临界角、光电效应规律和氢原子的能级跃迁，试题涉及内容多，知识覆盖面广，虽然难度适中，真正考查了学生的综合应用能力。

5.[2015 福建理综,30(1),6 分] 下列有关原子结构和原子核的认识，其中正确的是　(　　)
A.γ 射线是高速运动的电子流
B.氢原子辐射光子后，其绕核运动的电子动能增大
C.太阳辐射能量的主要来源是太阳中发生的重核裂变
D.$^{210}_{83}$Bi 的半衰期是 5 天，100 克 $^{210}_{83}$Bi 经过 10 天后还剩下 50 克

答案　B　γ 射线是光子流，选项 A 错误；氢原子辐射光子后能量减小，轨道半径减小，其绕核运动的电子动能增大，总能量减小，选项 B 正确；太阳辐射能量的主要来源是太阳中发生的氢核聚变，选项 C 错误；由 $m=\frac{m_0}{2^n}$，$n=\frac{t}{T}$ 得 $m=\frac{m_0}{2^2}=\frac{100}{4}$ g=25 g，选项 D 错误。

6.(2015 广东理综,18,6 分) (多选)科学家使用核反应获取氚，再利用氘和氚的核反应获得能量。核反应方程分别为：$X+Y\rightarrow{}^{4}_{2}He+{}^{3}_{1}H+4.9\text{ MeV}$ 和 ${}^{2}_{1}H+{}^{3}_{1}H\rightarrow{}^{4}_{2}He+X+17.6\text{ MeV}$。下列表述正确的有　(　　)
A.X 是中子
B.Y 的质子数是 3，中子数是 6
C.两个核反应都没有质量亏损
D.氘和氚的核反应是核聚变反应

答案　AD　设 X、Y 的电荷数分别为 Z、Z'，质量数分别为 A、A'，由质量数守恒和电荷数守恒有：$A+A'=4+3$，$2+3=A+4$，$Z+Z'=2+1$，$1+1=2+Z$，可得 $A=1$，$A'=6$，$Z=0$，$Z'=3$，故 X 是中子，Y 是 $^{6}_{3}$Li，A 正确；由 $^{6}_{3}$Li 知 Y 的质子数、中子数都是 3，故 B 错误；两个核反应中都释放了能量，故都有质量亏损，C 错误；氘和氚的核反应中质量较小的核结合成了质量较大的核，故 D 正确。

7.[2014 课标Ⅰ,35(1),6 分,0.537] (多选)关于天然放射性，下列说法正确的是　(　　)
A.所有元素都可能发生衰变
B.放射性元素的半衰期与外界的温度无关
C.放射性元素与别的元素形成化合物时仍具有放射性
D.α、β 和 γ 三种射线中，γ 射线的穿透能力最强
E.一个原子核在一次衰变中可同时放出 α、β 和 γ 三种射线

答案　BCD　原子序数大于或等于 83 的元素，都能发生衰变，而原子序数小于 83 的部分元素能发生衰变，故 A 错。放射性元素的衰变是原子核内部结构的变化，与核外电子的得失及环境温度无关，故 B、C 项正确。在 α、β、γ 三种射线中，α、β 为带电粒子，穿透本领较弱，γ 射线不带电，具有较强的穿透本领，故 D 项正确。一个原子核不能同时发生 α 衰变和 β 衰变，故 E 项错误。

规律总结　α 衰变：${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A-4}_{Z-2}Y+{}^{4}_{2}He$

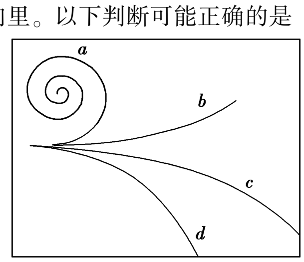
β 衰变：${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A}_{Z+1}Y+{}^{0}_{-1}e$

γ 射线：放射性原子核在发生 α 衰变、β 衰变时，蕴藏在核内的能量会释放出来，使产生的新核处于高能级，这时它要向低能级跃迁，能量以 γ 光子的形式辐射出来，即 γ 射线。

8.(2014 广东理综,18,6 分) (多选)在光电效应实验中，用频率为 ν 的光照射光电管阴极，发生了光电效应，下列说法正确的是　(　　)
A.增大入射光的强度，光电流增大
B.减小入射光的强度，光电效应现象消失
C.改用频率小于 ν 的光照射，一定不发生光电效应
D.改用频率大于 ν 的光照射，光电子的最大初动能变大

答案　AD　增大入射光强度，使单位时间内逸出的光电子数增加，因此光电流增大，选项 A 正确；能否发生光电效应与照射光的频率有关，与强度无关，选项 B 错误；当照射光的频率小于 ν，但仍大于极限频率时发生光电效应，选项 C 错误；由 $E_{km}=h\nu-W$，增加照射光的频率，光电子的最大初动能变大，选项 D 正确。

9.(2015 重庆理综,1,6 分) 图中曲线 a、b、c、d 为气泡室中某放射物发生衰变放出的部分粒子的径迹，气泡室中磁感应强度方向垂直于纸面向里。以下判断可能正确的是　(　　)



A.a、b 为 β 粒子的径迹　　B.a、b 为 γ 粒子的径迹
C.c、d 为 α 粒子的径迹　　D.c、d 为 β 粒子的径迹

答案　D　γ 粒子不带电，不会发生偏转，故 B 错。由左手定则可判定，a、b 粒子带正电，c、d 粒子带负电，又知 α 粒子带正电，β 粒子带负电，故 A、C 均错，D 正确。

10.(2017 上海单科,2,3 分) 光子的能量与其　(　　)
A.频率成正比　　B.波长成正比
C.速度成正比　　D.速度平方成正比

答案　A　由 $E=h\nu$、$c=\lambda\nu$ 得 $E=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$，可见光子的能量与其频率成正比、与其波长成反比，A 正确，B 错误。由于任意能量的光子在真空中传播的速度都是相同的，故 C、D 皆错误。

易错点拨 关于光子的能量

光子的能量不能理解为动能,不能由动能的定义式 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 来处理光子能量的问题,谨记爱因斯坦的光子说、质能方程是关键。

11.(2017 北京理综,18,6 分)2017 年年初,我国研制的"大连光源"——极紫外自由电子激光装置,发出了波长在 100 nm(1 nm=10^{-9} m)附近连续可调的世界上最强的极紫外激光脉冲。大连光源因其光子的能量大、密度高,可在能源利用、光刻技术、雾霾治理等领域的研究中发挥重要作用。

一个处于极紫外波段的光子所具有的能量可以电离一个分子,但又不会把分子打碎。据此判断,能够电离一个分子的能量约为(取普朗克常量 $h=6.6\times10^{-34}$ J·s,真空光速 $c=3\times10^8$ m/s)( )

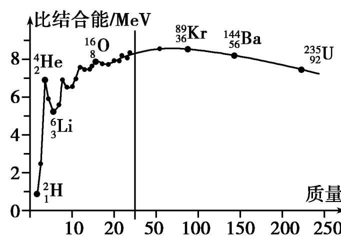
A.10^{-21} J B.10^{-18} J C.10^{-15} J D.10^{-12} J

答案 B 本题考查光子能量。由题意知,电离一个分子的能量等于照射分子的光子能量,$E=h\nu=h\frac{c}{\lambda}=2\times10^{-18}$ J,故选项 B 正确。

审题指导 题目信息提取

此题为新科技背景下的信息题,从题中提取有用信息,成为解答此题的关键,从题中应提取到如下有用信息:照射并使分子电离的激光波长为 $\lambda=100$ nm$=10^{-7}$m,照射不会把分子打碎,说明光子能量几乎全部用来使分子电离,所以只要计算激光脉冲光子能量即可。

12.[2017 江苏单科,12C(1)](多选)原子核的比结合能曲线如图所示。根据该曲线,下列判断正确的有( )



A.$^{4}_{2}$He 核的结合能约为 14 MeV

B.$^{4}_{2}$He 核比$^{6}_{3}$Li 核更稳定

C.两个$^{2}_{1}$H 核结合成$^{4}_{2}$He 核时释放能量

D.$^{235}_{92}$U 核中核子的平均结合能比$^{89}_{36}$Kr 核中的大

答案 BC 本题考查原子核的相关知识。

由图像可知,$^{4}_{2}$He 的比结合能约为 7 MeV,其结合能应为 28 MeV,故 A 错误。比结合能较大的核较稳定,故 B 正确。比结合能较小的核结合成比结合能较大的核时释放能量,故 C 正确。比结合能就是平均结合能,故由图可知 D 错误。

知识归纳 ①比结合能较小的核结合成比结合能大些的核为轻核聚变;比结合能较小的重核,分裂成几个比结合能较大的中等质量的核,为重核裂变。上述两类核反应均放出核能。

②比结合能越大的核越稳定。

13.(2017 上海单科,1,3 分)由放射性元素放出的氦核流被称为( )

A.阴极射线 B.α 射线
C.β 射线 D.γ 射线

答案 B 本题考查天然放射现象。在天然放射现象中,放出 α、β、γ 三种射线,其中 α 射线属于氦核流,选项 B 正确。

知识拓展 对三种射线的认识

天然放射现象中,放出的三种射线均来自于衰变的原子核,其中 α 射线是高速运动的氦核,β 射线是原子核中的中子衰变成质子时放出的电子流,而 γ 射线是衰变后新核放出的高频率光子流。

14.(2017 上海单科,3,3 分)在同位素氢、氘、氚的核内具有相同的( )

A.核子数 B.电子数 C.中子数 D.质子数

答案 D 本题考查对同位素的认识。同位素是指在原子核中的质子数相同而中子数不同的元素,故氢、氘、氚的核内具有相同的质子数,D 项正确。

易错点拨 对原子核的各种数量名称,易混淆,应分别认识清楚。对某个元素$^{A}_{Z}$X,其中 A 称为质量数,等于核中质子数与中子数的总和;Z 为核电荷数,等于核中质子数;核中的中子数为 A 与 Z 之差。在中性原子中的核外电子数等于核中质子数。

15.(2016 北京理综,13,6 分)处于 $n=3$ 能级的大量氢原子,向低能级跃迁时,辐射光的频率有( )

A.1 种 B.2 种 C.3 种 D.4 种

答案 C 处于能级为 n 的大量氢原子向低能级跃迁能辐射光的种类为 C_n^2,所以处于 $n=3$ 能级的大量氢原子向低能级跃迁,辐射光的频率有 $C_3^2=3$ 种,故 C 项正确。

16.[2015 山东理综,39(1)](多选)^{14}C 发生放射性衰变成为 ^{14}N,半衰期约 5 700 年。已知植物存活期间,其体内^{14}C 与^{12}C 的比例不变;生命活动结束后,^{14}C 的比例持续减少。现通过测量得知,某古木样品中^{14}C 的比例正好是现代植物所制样品的二分之一。下列说法正确的是( )

a.该古木的年代距今约 5 700 年

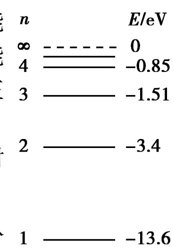
b.^{12}C、^{13}C、^{14}C 具有相同的中子数

c.^{14}C 衰变为^{14}N 的过程中放出 β 射线

d.增加样品测量环境的压强将加速^{14}C 的衰变

答案 ac 古木样品中^{14}C 的比例正好是现代样品的二分之一,说明该古木恰好经历了一个半衰期的时间,故 a 正确。^{12}C、^{13}C、^{14}C 具有相同的质子数、不同的中子数,故 b 错。^{14}C 的衰变方程为:$^{14}_{6}C\rightarrow^{14}_{7}N+^{0}_{-1}e$,可见 c 正确。放射性元素的半衰期与外界因素无关,故 d 错。

17.[2014 山东理综,39(1)](多选)氢原子能级如图,当氢原子从 $n=3$ 跃迁到 $n=2$ 的能级时,辐射光的波长为 656 nm。以下判断正确的是( )



a.氢原子从 $n=2$ 跃迁到 $n=1$ 的能级时,辐射光的波长大于 656 nm

b.用波长为 325 nm 的光照射,可使氢原子从 $n=1$ 跃迁到 $n=2$ 的能级

c.一群处于 $n=3$ 能级上的氢原子向低能级跃迁时最多产生 3 种谱线

d.用波长为 633 nm 的光照射,不能使氢原子从 $n=2$ 跃迁到 $n=3$的能级

答案 cd 由 $E_{初}-E_{终}=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$可知,氢原子跃迁时始末能级差值越大,辐射的光子能量越高、波长越短,由能级图知 $E_3-E_2<E_2-E_1$,故 a 错误。由$\frac{-1.51-(-3.4)}{-3.4-(-13.6)}=\frac{\lambda}{656}$得 $\lambda=121.6$ nm<325 nm,故 b 错误。由 $C_3^2=3$ 可知 c 正确。因跃迁中所吸收光子的能量必须等于始末能级的差值,即从 $n=2$ 跃迁到$n=3$的能级时必须吸收 $\lambda=656$ nm 的光子,故 d 正确。

方法技巧 衰变中的动量和能量守恒

在 α 衰变过程中,静止的原子核放射 α 粒子,新核与 α 粒子的总动量保持不变(为零),而衰变释放的能量与质量亏损之间必然遵循质能方程 $\Delta E=\Delta mc^2$。

18.[2018 江苏单科,12C(2)]光电效应实验中,用波长为 λ_0 的单色光 A 照射某金属板时,刚好有光电子从金属表面逸出。

当波长为 $\frac{\lambda_0}{2}$ 的单色光 B 照射该金属板时,光电子的最大初动能为________,A、B 两种光子的动量之比为________。(已知普朗克常量为 h、光速为 c)

答案 $\frac{hc}{\lambda_0}$　1∶2

解析　由爱因斯坦光电效应方程可知 $E_{kA}=h\frac{c}{\lambda_0}-W_0=0$,得

$W_0=h\frac{c}{\lambda_0}$

$E_{kB}=h\frac{c}{\frac{\lambda_0}{2}}-h\frac{c}{\lambda_0}=\frac{hc}{\lambda_0}$

A 种光子的动量 $p_A=\frac{h}{\lambda_0}$

B 种光子的动量 $p_B=\frac{h}{\frac{\lambda_0}{2}}=\frac{2h}{\lambda_0}$

得 $p_A:p_B=1:2$

19.(2016 江苏单科,12C,12 分)(1)贝可勒尔在 120 年前首先发现了天然放射现象,如今原子核的放射性在众多领域中有着广泛应用。下列属于放射性衰变的是________。

A.${}^{14}_{6}C\rightarrow{}^{14}_{7}N+{}^{0}_{-1}e$　　B.${}^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{139}_{53}I+{}^{95}_{39}Y+2{}^{1}_{0}n$

C.${}^{2}_{1}H+{}^{3}_{1}H\rightarrow{}^{4}_{2}He+{}^{1}_{0}n$　　D.${}^{4}_{2}He+{}^{27}_{13}Al\rightarrow{}^{30}_{15}P+{}^{1}_{0}n$

(2)已知光速为 c,普朗克常量为 h,则频率为 ν 的光子的动量为________。用该频率的光垂直照射平面镜,光被镜面全部垂直反射回去,则光子在反射前后动量改变量的大小为________。

(3)几种金属的逸出功 W_0 见下表:

金属	钨	钙	钠	钾	铷
$W_0(\times10^{-19}$ J)	7.26	5.12	3.66	3.60	3.41

用一束可见光照射上述金属的表面,请通过计算说明哪些能发生光电效应。已知该可见光的波长范围为 4.0×10^{-7} ~ 7.6×10^{-7} m,普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$ J·s。

答案　(1)A　(2)$\frac{h\nu}{c}$　$2\frac{h\nu}{c}$　(3)见解析

解析　(1)A 是 β 衰变,B 是核裂变,C 是核聚变,D 是原子核的人工转变,所以 A 符合题意。

(2)光子的动量 $p=\frac{E}{c}=\frac{h\nu}{c}$,垂直反射回去 $\Delta p=\frac{h\nu}{c}-(-\frac{h\nu}{c})=\frac{2h\nu}{c}$。

(3)光子的能量 $E=\frac{hc}{\lambda}$,取 $\lambda=4.0\times10^{-7}$ m,则 $E\approx5.0\times10^{-19}$ J

根据 $E>W_0$ 判断,钠、钾、铷能发生光电效应。

知识归纳　(1)光子的频率 ν、波长 λ 和光速 c 之间的关系为:$\nu=\frac{c}{\lambda}$

(2)光子的能量:$E=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$

(3)光子的动量:$p=\frac{h\nu}{c}$

3年模拟 2018-2020

对应学生用书起始页码 271

时间:30 分钟　分值:55 分

一、选择题(每小题 6 分,共 42 分)

1.(2018 广东五校一联) 2017 年 11 月 17 日,“中国核潜艇之父”——黄旭华获评全国道德模范,颁奖典礼上,习总书记为他“让座”的场景感人肺腑。下列有关核反应说法错误的是　(　　)

A.目前核潜艇是利用重核裂变提供动力

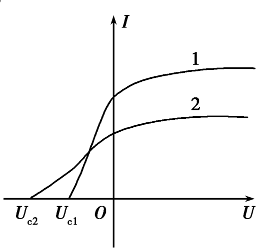
B.重核裂变反应中一定有质量亏损

C.${}^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{140}_{54}Xe+{}^{94}_{38}Sr+d{}^{1}_{0}n$,式中 $d=2$

D.铀核裂变后生成的新核比铀核的比结合能小

答案　D　目前世界上的核潜艇都是利用重核裂变提供动力,A 正确。重核裂变释放能量一定存在质量亏损,B 正确。由核反应中质量数守恒可知 $d=2$,C 正确。铀核裂变后生成的新核的比结合能比铀核的大,D 错误。

2.(2020 届河南中原五校联考,7) 如图所示为用某金属研究光电效应规律得到的光电流随电压变化关系的图像,用单色光 1 和单色光 2 分别照射该金属时,逸出的光电子的最大初动能分别为 E_{k1} 和 E_{k2},普朗克常量为 h,则下列说法正确的是　(　　)



A.$E_{k1}>E_{k2}$

B.单色光 1 的频率比单色光 2 的频率高

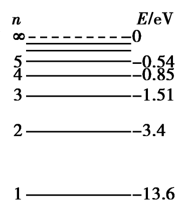
C.增大单色光 1 的强度,其遏止电压会增大

D.单色光 1 和单色光 2 的频率之差为 $\frac{E_{k1}-E_{k2}}{h}$

答案　D　本题考查了光电效应规律,体现了科学思维中的科学推理要素。

由于 $E_{k1}=e|U_{c1}|$,$E_{k2}=e|U_{c2}|$,所以 $E_{k1}<E_{k2}$,选项 A 错误;由 $E_k=h\nu-W_0$ 可知,单色光 1 的频率比单色光 2 的频率低,选项 B 错误;只增大照射光的强度,光电子的最大初动能不变,因此遏止电压不变,选项 C 错误;$E_{k1}=h\nu_1-W_0$,$E_{k2}=h\nu_2-W_0$,得 $\nu_1-\nu_2=\frac{E_{k1}-E_{k2}}{h}$,选项 D 正确。

3.(2018 福建泉州检测) 如图所示为氢原子的能级图,用某种频率的光照射大量处于基态的氢原子,受到激发后的氢原子只辐射出三种不同频率的光 a、b、c,频率 $\nu_a>\nu_b>\nu_c$,让这三种光照射逸出功为 10.2 eV 的某金属表面,则　(　　)



A.照射氢原子的光子能量为 12.09 eV

B.从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射出的光频率为 ν_b

C.逸出的光电子的最大初动能为 1.51 eV

D.光 a、b、c 均能使该金属发生光电效应

答案　A　用某种频率的光照射大量处于基态的氢原子,受到激发后的氢原子只辐射出三种不同频率的光,则知受激发后的氢原子处于 $n=3$ 能级,可知照射氢原子的光子能量为 $(-1.51\ \text{eV})-(-13.6\ \text{eV})=12.09$ eV,A 选项正确;$n=3\rightarrow n=1$ 时:$h\nu_a=-1.51\ \text{eV}-(-13.6\ \text{eV})=12.09$ eV,$n=2\rightarrow n=1$ 时:$h\nu_b=-3.4\ \text{eV}-(-13.6\ \text{eV})=10.2$ eV,$n=3\rightarrow n=2$ 时:$h\nu_c=-1.51\ \text{eV}-(-3.4\ \text{eV})=1.89$ eV,则知从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射出的光频率为 ν_c,让这三种光照射逸出功为 10.2 eV 的某金属表面,光 c 不能使该金属发生光电效应,光 a、b 可使该金属发生光电效应,逸出的光电子的最大初动能为 12.09 eV−10.2 eV=1.89 eV,故 B、C、D 错误。

4.(2019 安徽 A10 联盟 2 月联考,14)关于核反应方程 $^{238}_{92}U \rightarrow ^{X}_{90}Th + ^{4}_{2}He$,其中 X 为 Th 原子核的质量数,则下列说法正确的是 ( )

A.该核反应属于 β 衰变

B.$^{X}_{90}Th$ 中含有 148 个中子

C.$^{238}_{92}U$ 的平均结合能比 $^{X}_{90}Th$ 大

D.该核反应新生成的粒子 $^{X}_{90}Th$ 具有放射性

答案 D 该核反应生成物中有 $^{4}_{2}He$,是 α 衰变,故选项 A 错误;根据原子核衰变时电荷数和质量数守恒可判断出 $X=234$,所以 $^{X}_{90}Th$ 中含有的中子数为 234−90=144 个,故选项 B 错误;该 α 衰变反应释放能量,则 $^{238}_{92}U$ 的平均结合能比 $^{X}_{90}Th$ 小,故选项 C 错误;该核反应新生成的粒子 $^{X}_{90}Th$ 的原子序数大于 83,所以具有放射性,故选项 D 正确。

5.(2019 河北衡水中学高考模拟九)(多选)关于近代物理学,下列说法正确的是 ( )

A.α 射线、β 射线和 γ 射线是三种波长不同的电磁波

B.一群处于 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时能辐射出 6 种不同频率的光子

C.重核裂变过程生成中等质量的核,反应前后质量数守恒,但质量一定减小

D.经典物理学不能解释原子光谱的不连续性,但可以解释原子的稳定性

答案 BC γ 射线是电磁波,而 α 射线、β 射线不是电磁波,故 A 错误;一群处于 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时能辐射出 $C_4^2=6$ 种不同频率的光子,B 正确;重核裂变过程生成中等质量的核,反应前后质量数守恒,由于释放能量,有质量亏损,质量减小,故 C 正确;经典物理学不能解释原子的稳定性和原子光谱的分立特征,D 错误。

6.(2019 山西晋城一模,1)一静止的磷原子核 $^{32}_{15}P$ 发生 β 衰变转变成 $^{32}_{16}S$,核反应方程为 $^{32}_{15}P \rightarrow ^{32}_{16}S + ^{0}_{-1}e$,下列说法正确的是 ( )

A.核反应产生的 $^{32}_{16}S$ 与 $^{0}_{-1}e$ 动能相等

B.核反应产生的 $^{32}_{16}S$ 与 $^{0}_{-1}e$ 速度等大反向

C.核反应产生的 $^{32}_{16}S$ 与 $^{0}_{-1}e$ 动量等大反向

D.核反应产生的 $^{32}_{16}S$ 与 $^{0}_{-1}e$ 的质量之和与 $^{32}_{15}P$ 相等

答案 C 核反应前后动量守恒,核反应前 $^{32}_{15}P$ 是静止的,动量等于零,可知核反应后两生成物的动量等大反向,选项 C 正确;根据动能和动量的关系 $E_k=\frac{p^2}{2m}$ 可知 $^{32}_{16}S$ 与 $^{0}_{-1}e$ 的动能不相等,选项 A 错误;因为 $^{32}_{16}S$ 与 $^{0}_{-1}e$ 质量不相等,动量大小相等,所以速度大小不相等,选项 B 错误;由于核反应存在质量亏损,选项 D 错误。

7.(2020 届湖南长沙模拟,7)已知氢原子处于基态时的能量为 $E_1(E_1<0)$,氢原子处于 n 能级时能量为 $E_n=\frac{E_1}{n^2}$。现有一个处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁,发出两个不同频率的光子,其中频率较小的光子照射某种金属恰好能使该金属发生光电效应,已知普朗克常量为 h。则下列说法正确的是 ( )

A.频率较大的光子能量为 $-\frac{8}{9}E_1$

B.被照金属发生光电效应的截止频率为 $\frac{5E_1}{36h}$

C.该氢原子向低能级跃迁过程中减少的电势能等于电子增加的动能

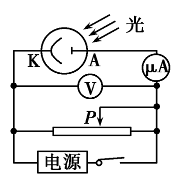
D.若用其中频率较大的光子照射该金属,则产生的光电子的最大初动能可能为 $E_k=-\frac{11}{18}E_1$

答案 D 本题考查氢原子能级跃迁及光电效应规律,体现了科学思维中的科学推理要素。

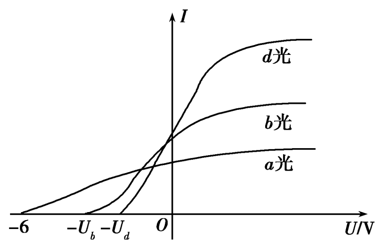
$E_2=\frac{E_1}{2^2}=\frac{E_1}{4}$,$E_3=\frac{E_1}{3^2}=\frac{E_1}{9}$,频率较大的光子的能量为 $h\nu=E_2-E_1=-\frac{3E_1}{4}$,选项 A 错误;频率较小的光子照射恰好发生光电效应,可知该金属的逸出功 $W_0=h\nu_c=E_3-E_2=-\frac{5E_1}{36}$,解得截止频率 $\nu_c=-\frac{5E_1}{36h}$,选项 B 错误;氢原子向低能级跃迁过程中减少的电势能等于电子增加的动能与辐射的光子的能量之和,选项 C 错误;根据光电效应方程 $h\nu=W_0+E_k$,解得 $E_k=-\frac{11}{18}E_1$,选项 D 正确。

二、非选择题(共 13 分)

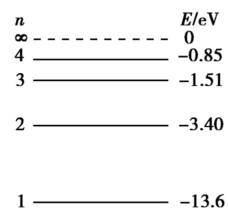
8.(13 分)(2019 江西协作体一模改编)一群处于第 4 能级的氢原子,最终都回到基态,能发出 6 种不同频率的光,将这些光分别照射到图甲电路阴极 K 的金属上,只能测得 3 条电流随电压变化的图像(如图乙)。已知氢原子的能级图如图丙所示。



甲



乙



丙

(1)求 a 光照射金属时的遏止电压 U_a 和逸出光电子的最大初动能 E_k;

(2)求该金属逸出功 W;

(3)已知 d 光的能量为 E,普朗克常量为 h,真空中的光速为 c,若一个质量为 m 的静止电子吸收了一个 d 光的光子,求电子在吸收光子后的速度大小 v。(不计光子的质量)

答案 (1)6 eV (2)6.75 eV (3)$\frac{E}{mc}$

解析 (1)由图可得 $U_a=6$ V

$E_k=eU_a=6$ eV;

(2)a 光的光子能量为 $E_a=-0.85\ eV-(-13.6\ eV)=12.75$ eV

根据光电效应方程,则有 $E_k=E_a-W$

计算得出 $W=(12.75-6)$ eV $=6.75$ eV;

(3)d 光的光子能量为 $E=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$

d 光光子动量为 $p=\frac{h}{\lambda}$

根据动量守恒定律,则有 $p=mv$

计算得出 $v=\frac{E}{mc}$。

专题十四　实验

探考情 悟真题

5 年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 154

考点	考向	5 年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
力学实验	实验中纸带的处理	2019 课标Ⅰ,22,5 分	3	纸带法测加速度	运动与相互作用观念		★★☆
		2019 课标Ⅱ,22,5 分	3	牛顿第二定律	运动与相互作用观念	逐差法	
		2017 课标Ⅰ,22,5 分	4	纸带法测加速度	运动与相互作用观念	逐差法	
		2015 课标Ⅱ,22,6 分	4	纸带法测加速度、动摩擦因数	运动与相互作用观念	逐差法	
	基本力学实验	2018 课标Ⅰ,22,5 分	3	游标卡尺读数、胡克定律	证据		
		2018 课标Ⅱ,23,9 分	3	测力计读数、动摩擦因数	证据		
		2017 课标Ⅲ,22,6 分	3	测力计读数、平行四边形定则	运动与相互作用观念		
		2018 天津理综,9(2)	3	平行四边形定则	运动与相互作用观念		
		2019 北京理综,21,18 分	3	平抛运动	运动与相互作用观念		
		2016 课标Ⅰ,22,5 分	4	纸带法测速度、牛顿第二定律	运动与相互作用观念		
		2016 课标Ⅱ,22,6 分	4	纸带法测速度	运动与相互作用观念		
		2017 天津理综,9(2)	4	机械能守恒定律	能量观念		
		2016 课标Ⅲ,23,10 分	4	牛顿第二定律	运动与相互作用观念		
电学实验	基本仪器的原理及使用	2019 课标Ⅰ,23,10 分	3	并联分流、串联分压	科学推理		★★★
		2019 课标Ⅱ,23,10 分	4	闭合电路欧姆定律	科学推理		
		2019 课标Ⅲ,23,10 分	4	闭合电路欧姆定律	科学推理		
		2018 课标Ⅱ,22,6 分	4	并联分流、串联分压	科学推理		
		2015 课标Ⅰ,23,9 分	4	故障分析	科学推理		
		2015 广东理综,34(2),10 分	3	$U-I$ 图线、测电动势和内阻	证据		
	测量电阻和描绘小灯泡的伏安特性曲线	2018 课标Ⅰ,23,10 分	4	$R-t$ 图像	证据	替代法	
		2017 课标Ⅰ,23,10 分	4	$I-U$ 图像	证据		
		2017 课标Ⅱ,23,9 分	4	实物图连线	交流		
		2016 课标Ⅱ,23,9 分	4	实物图连线	科学推理	半偏法	
		2015 课标Ⅱ,23,9 分	4	测电压表内阻	证据	半偏法	
		2019 江苏单科,11,10 分	4	$U-I$ 图像	证据		
		2015 福建理综,19(2),12 分	4	$U-I$ 图像	证据		
	测电源的电动势和内阻	2017 天津理综,9(3)	4	$I-I$ 图像	证据	伏安法	
		2016 四川理综,8Ⅱ,11 分	4	$U-I$ 图像	科学推理	伏安法	

分析解读

物理是以实验为基础的学科,实验能力是物理学科的重要能力,高考物理历来重视考查实验能力,从近几年的高考试题可以看出高考命题有以下几个特点:

1.基本仪器的使用是考查的热点。如刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器、电流表、电压表、多用电表、滑动变阻器、电阻箱等的使用,都是高考的热点。

2.实验的实际操作是考查的重点。近几年来的物理实验试题所考查的实验步骤的排序以及纠错、补漏、电路连接、实验仪器的选择等都与实验的实际操作过程紧密相关,真正地考查了考生的实际操作能力。

3.设计实验是考查的难点。从近几年的试题来看,高考加强了对实验探究能力的考查。

4.实验的基本原理和思想方法是考查的核心。从近几年的高考试题可以看出,所有试题的考查均源于课本实验,但已从简单的背诵实验形式向分析、理解实验等方面转变,因此理解课本实验原理、体会实验思想是实验复习的核心。

5.实验数据处理在试题中逐年体现,是实验的一个重要环节。实验数据处理中认识误差问题非常重要。要了解误差的概念,知道系统误差和偶然误差,会分析误差来源,知道用多次测量求平均值的方法减小偶然误差,会用有效数字表达直接测量的结果,间接测量的有效数字运算不作要求。

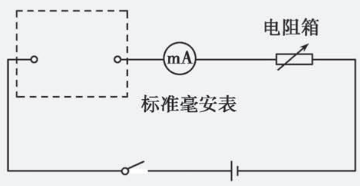
真题探秘

对应学生用书 起始页码 156

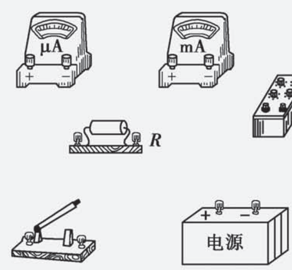
(2019课标Ⅰ,23,10分)某同学要将一量程为250 μA的微安表改装为量程为20 mA的电流表。该同学测得微安表内阻为1 200 Ω,经计算后将一阻值为R的电阻与该微安表连接,进行改装。然后利用一标准毫安表,根据图(a)所示电路对改装后的电表进行检测(虚线框内是改装后的电表)。

电流表扩量程,要并联电阻

创设试题情景:微安表改装成电流表并进行校对



图(a)

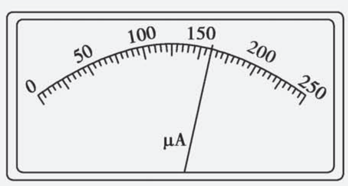


图(b)

(1)根据图(a)和题给条件,将图(b)中的实物连线。

(2)当标准毫安表的示数为16.0 mA时,微安表的指针位置如图(c)所示。由此可以推测出所改装的电表量程不是预期值,而是________。(填正确答案标号)

设问根据串联电路电流相等的原理,根据比例关系确定改装表的量程



图(c)

A.18 mA　B.21 mA　C.25 mA　D.28 mA

(3)产生上述问题的原因可能是________。(填正确答案标号)

设问隐含着电表改装时的误差分析

A.微安表内阻测量错误,实际内阻大于1 200 Ω

B.微安表内阻测量错误,实际内阻小于1 200 Ω

C.R值计算错误,接入的电阻偏小

D.R值计算错误,接入的电阻偏大

(4)要达到预期目的,无论测得的内阻值是否正确,都不必重新测量,只需要将阻值为R的电阻换为一个阻值为kR的电阻即可,其中k=______。

设问隐含着根据并联电路特点,扩大量程时所并联的电阻的表达式

❶ 核心要点

并联电路的特点在电表改装中的应用，电表校对时的误差分析。

❷ 情景解读

针对校表时不是预期值，提出对应的三个递进问题，即改装电表的量程计算、分析出现误差的原因及解决问题的原理。

❸ 思路分析

根据改装后电流表在校对时和标准电流表串联关系，求出改装表的实际量程。由小量程电流表改装成较大量程的电流表，需要并联电阻，由$I=\left(\frac{R_0}{R}+1\right)I_0$可得出结论，由改装时所并联的电阻$R=\frac{I_0}{I-I_0}R_0$得不同量程时电阻的表达式$R'=\frac{I-I_0}{I'-I_0}R$，可得出相应的结果。

❹ 能力要求

考查了实验能力、分析推理能力，体现了科学探究要素。

❺ 答案

详细解析见328页5年高考B组第3题

破考点 练考向　考点考向清单　考点题霸集训

考点清单　对应学生用书起始页码 157

考点一　力学实验

考向基础

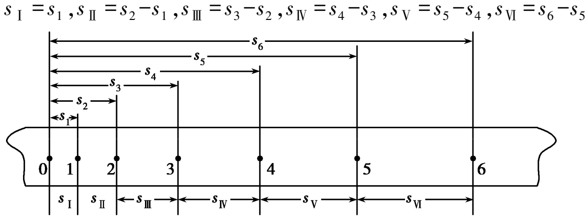
一、打点计时器系列实验中纸带的处理

1.纸带的选取：一般实验应选取点迹清晰、无漏点且有足够多点的纸带。在“验证机械能守恒定律”实验中还要求纸带包含第一、二两计时点，并且第一、二两计时点距离接近 2.0 mm。

2.根据纸带上点的密集程度选取计数点：打点计时器每打 n 个点取一个计数点，则相邻计数点间时间间隔为 n 个打点时间间隔。

3.测量计数点间距离：为了测量、计算方便和减小偶然误差，测量距离时不要分段测量，尽可能一次测量完毕，即测量计数起点到其他各计数点的距离。如图所示，则由图可得：

$s_Ⅰ=s_1$，$s_Ⅱ=s_2-s_1$，$s_Ⅲ=s_3-s_2$，$s_Ⅳ=s_4-s_3$，$s_Ⅴ=s_5-s_4$，$s_Ⅵ=s_6-s_5$



4.判定物体运动的性质

(1)若 $s_Ⅰ$、$s_Ⅱ$、$s_Ⅲ$、$s_Ⅳ$、$s_Ⅴ$、$s_Ⅵ$ 基本相等，则可判定物体在实验误差范围内做匀速直线运动。

(2)设 $\Delta s_1=s_Ⅱ-s_Ⅰ$，$\Delta s_2=s_Ⅲ-s_Ⅱ$，$\Delta s_3=s_Ⅳ-s_Ⅲ$，$\Delta s_4=s_Ⅴ-s_Ⅳ$，$\Delta s_5=s_Ⅵ-s_Ⅴ$

若 Δs_1、Δs_2、Δs_3、Δs_4、Δs_5 基本相等，则可判定物体在实验误差范围内做匀变速直线运动。

(3)测定第 n 点的瞬时速度

物体做匀变速直线运动时，在某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度。即测出第 n 点的相邻前、后两段相等时间 T 内的位移，由平均速度公式即可求得第 n 点的瞬时速度，如图中第 4 点的瞬时速度为：

$$v_4=\frac{s_Ⅳ+s_Ⅴ}{2T}=\frac{s_5-s_3}{2T}。$$

(4)测定做匀变速直线运动物体的加速度

一般用逐差法求加速度。将如图所示的连续相等时间间隔 T 内的位移 $s_Ⅰ$、$s_Ⅱ$、$s_Ⅲ$、$s_Ⅳ$、$s_Ⅴ$、$s_Ⅵ$ 分成三组，利用 $\Delta s=aT^2$ 可得：$a_1=\frac{s_Ⅳ-s_Ⅰ}{3T^2}$、$a_2=\frac{s_Ⅴ-s_Ⅱ}{3T^2}$、$a_3=\frac{s_Ⅵ-s_Ⅲ}{3T^2}$，再算出 a_1、a_2、a_3 的平均值，即：$a=\frac{a_1+a_2+a_3}{3}$，就是所测做匀变速直线运动物体的加速度。

二、探究弹力与弹簧伸长的关系

实验原理

用悬挂法测量弹簧的弹力运用的是弹簧的弹力与挂在弹簧下面的钩码的重力相等。弹簧的长度可以用刻度尺直接测出，伸长量可以由拉长后的长度减去弹簧原来的长度进行计算。

实验步骤

1.把弹簧悬吊在铁架台上，让弹簧自然下垂，在弹簧不挂钩码时测量弹簧的原长 L_0。

2.将已知质量的钩码挂在弹簧的下端，在平衡时测量弹簧的总长并计算钩码的重力，并将弹簧所受拉力 F(等于所挂钩码的重力)，填写在记录表格里。然后改变所挂钩码的质量，重复前面的实验过程多次。

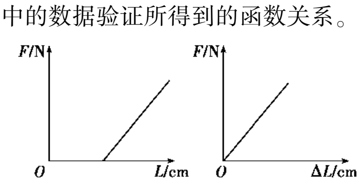
	1	2	3	4	5	6	7	8
F/N								
L/cm								
ΔL/cm								

3.根据所测数据，在已经准备好的坐标纸上描点，以力为纵坐标，以弹簧的长度 L 为横坐标。

4.作图得到的是如图甲所示的图像。尽管是直线，也是一次函数，但不够简洁，即不是刚好反映函数间的正比关系。处理的办法是将坐标轴平移，就可以得到一个从原点出发的函数图像(图乙)。平移后将横坐标由弹簧的长度改为弹簧的伸长量 ΔL。

5.写出实验得到的曲线所代表的函数，即弹力与弹簧伸长量的关系。

6.运用表中的数据验证所得到的函数关系。



甲　　乙

注意事项

1.悬吊弹簧时要让它自然下垂，别忘了测量弹簧的原长 L_0。

2.每改变一次拉力的大小就要做一次测量记录。为了探究弹力和弹簧伸长的关系，要尽可能多测几组数据，以便在坐标纸上能描出更多的点。

3.实验时拉力不要太大(即钩码不能过多)，以免弹簧超出弹性限度。

4.在坐标纸上尝试描画一条平滑曲线(包括直线)时，要顺

着各点的走向来描,描出的点不一定正好在曲线上,但要注意在曲线两侧的点数大致相同。

5.写出曲线所代表的函数时,建议首先尝试用一次函数,如果不行再考虑其他函数。

三、验证力的平行四边形定则

实验原理

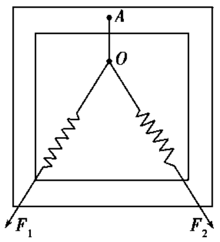
结点受三个共点力作用处于平衡状态,则 F_1、F_2 的合力必与 F_3 平衡,改用一个拉力 F'使结点仍到 O,则 F'必与 F_1、F_2 的合力等效,与 F_3 平衡,以 F_1、F_2 为邻边作平行四边形求出合力 F,比较 F'与 F 的大小和方向,以验证力合成时的平行四边形定则。

实验步骤

1.用图钉把白纸钉在放于水平桌面的方木板上。

2.用图钉把橡皮条的一端固定在 A 点,橡皮条的另一端拴上两个细绳套。

3.用两只弹簧测力计分别钩住细绳套,互成角度地拉橡皮条,将结点拉到某一位置,如图,记录两弹簧测力计的读数,用铅笔描下 O 点的位置及此时两个细绳套的方向。



4.用铅笔和刻度尺从结点 O 沿两条细绳套方向画直线,按选定的标度作出这两只弹簧测力计的读数 F_1、F_2 的图示,并以 F_1 和 F_2 为邻边用刻度尺和三角板作平行四边形,过 O 点画出平行四边形的对角线,即为合力 F 的图示。

5.只用一只弹簧测力计钩住细绳套,把橡皮条的结点拉到同样的位置 O,记下弹簧测力计的读数 F'和细绳套的方向,用刻度尺从 O 点按选定的标度沿记录的方向作出这只弹簧测力计的拉力 F'的图示。

6.比较力 F'与用平行四边形定则求出的合力 F 的大小和方向,得出结论。

注意事项

1.同一实验中的两只弹簧测力计的选取方法是:将两只弹簧测力计钩好后对拉,若两只弹簧测力计在对拉的过程中,读数相同,则可选,若不同,应另换,直至相同为止,使用时弹簧测力计与板面平行。

2.在满足合力不超过弹簧测力计量程及橡皮条形变不超过弹性限度的条件下,应使拉力尽量大一些,以减小误差。

3.在同一次实验中,橡皮条拉长的结点 O 位置一定要相同。

4.由作图法得到的 F 与实际测量得到的 F'不可能完全符合,但在误差允许范围内可认为 F 和 F'符合。

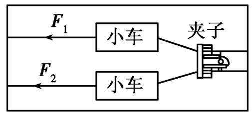
四、验证牛顿运动定律

实验原理

实验中,研究的参量有 F、m、a,在验证牛顿第二定律的实验中,可以控制参量 m 一定,研究 a 与 F 的关系;控制参量 F 一定,研究 a 与 m 的关系。

实验步骤

1.将一端附有滑轮的长木板放在水平桌面上,取两个质量相等的小车,放在光滑的水平长木板上,示意图如图所示。



2.在小车的前端各系上细绳,绳的另一端跨过定滑轮各挂一个砝码盘,在盘内分别放数目不等的砝码,而在两小车上放质量相等的砝码,使砝码盘和盘内砝码的总质量远小于小车和车上砝码的总质量,分别用天平测出两个砝码盘和盘内砝码的总质量 M_1 和 M_2,把数值记录下来。此时,小车所受的水平拉力的大小 F_1 和 F_2 可以认为等于砝码盘和盘内砝码所受重力的大小。

3.在小车的后端也分别系上细绳,用一只夹子夹住这两根细绳,便于同时控制两辆小车,使它们同时开始运动和同时停止运动。

4.打开夹子,让两辆小车同时从静止开始运动。小车走过一段距离后,夹上夹子,让它们同时停下来。分别用刻度尺测出两辆小车在这一段相同时间内通过的位移大小 x_1 和 x_2,并记录下来。

5.分析所得到的两辆质量相等的小车在相同时间内通过的位移与小车所受的水平拉力的大小的关系,从而得到质量相等的物体运动的加速度与物体所受作用力大小的关系。并将结论记在实验结论中。

6.在两个相同的砝码盘内放质量相等的砝码,而在两辆小车上放质量不等的砝码,使两辆小车的质量不等,而所受的拉力相等。仍保证砝码盘和盘内砝码的总质量远小于小车和车上砝码的总质量,分别用天平测出两辆小车和车上砝码的总质量 m_1 和 m_2,把数值记录下来。

7.让两辆小车同时从静止开始运动。小车走过一段距离后,夹上夹子,让它们同时停下来。分别用刻度尺测出两辆小车在这一段相同时间内通过的位移大小 x_1'和 x_2',并记录下来。

8.分析所得到的受相同拉力作用的两辆小车在相同时间内通过的位移大小与质量大小的关系,从而得到所受拉力相等的物体运动的加速度与物体质量大小的关系。并将结论记在实验结论中。

注意事项

1.在实验中,小车所受的摩擦力是造成系统误差的一个重要因素。因此利用小车重力沿斜面方向的分力平衡摩擦力。

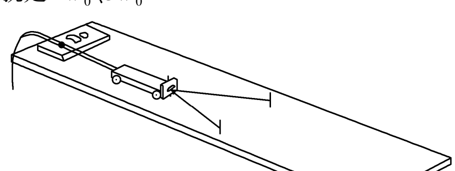
2.为使所作的 a-F 图像和 a-$\frac{1}{m}$图像更精确,每个图像都要求至少取 5 条以上的纸带。

3.改变小车的质量或拉力的大小时,改变量应尽可能大一些,但应满足砝码盘和盘内砝码的总质量远小于小车和车上砝码的总质量。一般来说,砝码盘和盘内砝码的总质量不超过小车和车上砝码总质量的 10%。

五、探究动能定理

实验原理

如图,小车在橡皮筋的作用下弹出,沿木板滑行。当我们用 2 条、3 条……同样的橡皮筋进行第 2 次、第 3 次……实验时,每次实验中橡皮筋拉伸的长度都保持一致,那么,第 2 次、第 3 次……实验中橡皮筋对小车做的功就是第 1 次的 2 倍、3 倍……如果把第 1 次实验时橡皮筋所做的功记为 W_0,以后各次做的功就是 $2W_0$、$3W_0$…



由于橡皮筋做功而使小车获得的速度可以由纸带和打点计时器测出,也可以用其他方法测出。这样,进行若干次测量,就得到若干组功和速度的数据。

以橡皮筋对小车做的功为纵坐标,小车获得的速度为横坐标,以第 1 次实验时的功 W_0 为单位,作出 $W-v$ 曲线即功-速度曲线。分析这条曲线,可以得知橡皮筋对小车做的功与小车获得的速度的定量关系。

实验步骤

1.按图组装好实验器材,由于小车在运动中会受到阻力,把木板略微倾斜,作为补偿。

2.先用一条橡皮筋进行实验,把橡皮筋拉伸一定长度,理清纸带,接通电源,放开小车。

3.换用纸带,改用 2 条、3 条……同样的橡皮筋进行第 2 次、第 3 次……实验,每次实验中橡皮筋拉伸的长度都相同。

4.由纸带算出小车获得的速度,把第 1 次实验获得的速度记为 v_1,第 2 次、第 3 次……记为 v_2、v_3…

5.对测量数据进行估计,大致判断两个量可能的关系,然后以 W 为纵坐标,v^2(v、v^3 或$\sqrt{v}$)为横坐标作图。

注意事项

木板的倾斜程度应满足小车重力沿木板向下的分力等于小车受到的阻力。

六、验证机械能守恒定律

实验原理

在只有重力做功的自由落体运动中,物体的重力势能转化为动能,但总的机械能守恒,利用打点计时器在纸带上记录下物体自由下落的高度 h 及计算出瞬时速度 v,从而验证物体在自由下落过程中,重力势能的减少量 $\Delta E_p=mgh$ 与物体动能的增加量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 相等。

实验步骤

1.将实验装置按要求装好,将纸带固定在重物上,让纸带穿过打点计时器的限位孔。

2.先用手提起纸带,使重物静止在靠近打点计时器的地方。

3.接通电源,松开纸带,让重物自由下落,这样打点计时器就在纸带上打下一系列点。

4.重复以上步骤,多做几次。

5.从已打出的纸带中,选出第一、二点间的距离接近 2 mm 且点迹清晰的纸带,并对其进行测量。

6.利用公式 $v_中=\frac{x_1+x_2}{2T}$分别求出物体在打下点 2、3、4…时的瞬时速度 v_2、v_3、v_4…

7.把得到的数据填入表格,算出重物运动到点 2、3、4…时减小的重力势能 mgh_2、mgh_3、mgh_4…再算出物体运动到点 2、3、4…时增加的动能 $mv_2^2/2$、$mv_3^2/2$、$mv_4^2/2$…根据机械能守恒定律比较 $mv_2^2/2$ 与 mgh_2、$mv_3^2/2$ 与 mgh_3、$mv_4^2/2$ 与 mgh_4…结果是否一致。

注意事项

1.组装实验装置时,重物与纸带、限位孔必须在同一竖直线上,以减小摩擦阻力。

2.实验时必须先接通电源,让打点计时器正常工作后才能松开纸带让重物下落;

3.不需要知道动能的具体数值,因此不需要测出重物的质量 m。

七、验证动量守恒定律

实验原理

在一维碰撞中,测出物体的质量 m 和碰撞前后物体的速度 v、v',找出碰撞前的总动量 $p=m_1v_1+m_2v_2$ 及碰撞后的总动量 $p'=m_1v_1'+m_2v_2'$,看碰撞前后动量是否守恒。

实验步骤

1.先用天平测出小球质量 m_1、m_2。

2.在地面上铺一张白纸,白纸上铺放复写纸。

3.在白纸上记下重垂线所指的位置 O,它表示入射小球碰前的位置。

4.先不放被碰小球,让入射小球从斜槽上同一高度处滚下,重复 10 次,用圆规画尽可能小的圆把所有的小球落点圈在里面。圆心就是入射小球不碰时的落地点 P。

5.把被碰小球放在小支柱上,让入射小球从同一高度滚下,使它们发生正碰,重复 10 次,仿步骤 4 找出入射小球落点的平均位置 M 和被碰小球落点的平均位置 N。

6.过 O、N 在纸上作一直线,取 $OO'=2r$,O'就是被碰小球碰撞时的球心投影位置(用刻度尺和三角板测小球直径 $2r$)。

7.用刻度尺量出线段的长度 OP、OM、$O'N$,把两小球的质量和相应的线段长度代入 $m_1\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot O'N$ 看是否成立。

注意事项

1.碰撞的两小球应保证"水平"和"正碰"。

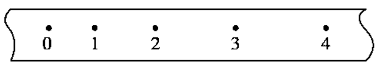
2.入射小球的质量 m_1 大于被碰小球的质量 m_2。

考向突破

考向一　实验中纸带的处理

1.由纸带判断物体做匀变速运动的方法

如图所示,0、1、2…为时间间隔相等的各计数点,x_1、x_2、x_3…为相邻两计数点间的距离,若 $\Delta x=x_2-x_1=x_3-x_2=x_4-x_3=C$(常量),即若两连续相等的时间间隔里的位移之差为恒量,则与纸带相连的物体的运动为匀变速直线运动。



2.由纸带求物体运动加速度的方法

(1)用"逐差法"求加速度。

即根据 $x_4-x_1=x_5-x_2=x_6-x_3=3aT^2$($T$ 为相邻两计数点间的时间间隔)求出

$$a_1=\frac{x_4-x_1}{3T^2}、a_2=\frac{x_5-x_2}{3T^2}、a_3=\frac{x_6-x_3}{3T^2},$$

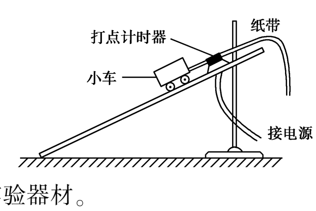
再算出平均值则为物体运动的加速度,

$$即\ a=\frac{x_4+x_5+x_6-x_1-x_2-x_3}{9T^2}$$

(2)用图像法求加速度。

即先根据 $v_n=\frac{x_n+x_{n+1}}{2T}$求出所选的各计数点对应的瞬时速度,后作出 $v-t$ 图像,图线的斜率即为物体运动的加速度。

例 1　某同学用如图所示的实验装置研究小车在斜面上的运动。实验步骤如下:

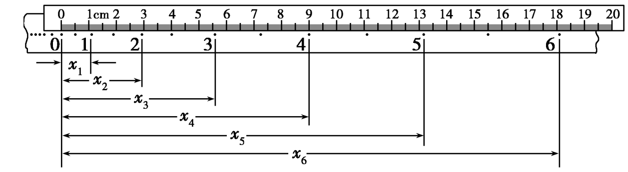


a.安装好实验器材。

b.接通电源后,让拖着纸带的小车沿平板斜面向下运动,重复几次。选出一条点迹比较清晰的纸带,舍去开始密集的点迹,从便于测量的点开始,每两个打点间隔取一个计数点,如图中 0、1、2、…、6 点所示。

c.测量1、2、3、…、6计数点到0计数点的距离,分别记做:x_1、x_2、x_3、…、x_6。

d.通过测量和计算,该同学判断出小车沿平板做匀加速直线运动。



e.分别计算出 x_1、x_2、x_3、…、x_6 与对应时间的比值 $\frac{x_1}{t_1}$、$\frac{x_2}{t_2}$、$\frac{x_3}{t_3}$、…、$\frac{x_6}{t_6}$。

f.以 $\frac{x}{t}$ 为纵坐标、t 为横坐标,标出 $\frac{x}{t}$ 与对应时间 t 的坐标点,画出 $\frac{x}{t}-t$ 图线。

结合上述实验步骤,请你完成下列任务:

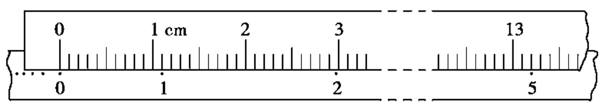
①实验中,除打点计时器(含纸带、复写纸)、小车、平板、铁架台、导线及开关外,在下面的仪器和器材中,必须使用的有________和________。(填选项代号)

A.电压合适的50 Hz交流电源

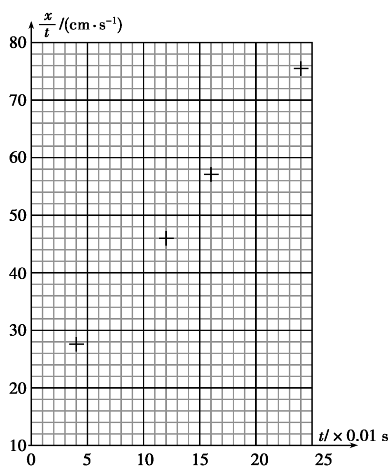
B.电压可调的直流电源

C.刻度尺　D.秒表　E.天平　F.重锤

②将分度值为1 mm的刻度尺的0刻线与0计数点对齐,0、1、2、5计数点所在位置如图所示,则 x_2=________cm,x_5=________cm。



③该同学在图中已标出1、3、4、6计数点对应的坐标点,请你在该图中标出与2、5两个计数点对应的坐标点,并画出 $\frac{x}{t}-t$ 图线。



④根据 $\frac{x}{t}-t$ 图线判断,在打0计数点时,小车的速度 v_0=________m/s;它在斜面上运动的加速度 a=________ m/s²。

解析 ①打点计时器必须与交流电源配合使用,选A。使用刻度尺测量0计数点与其他计数点间的距离,选C。

②由图可知 x_2=2.98 cm,x_5=13.20 cm。

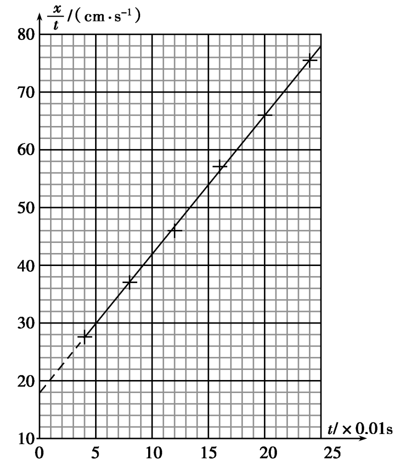
③因 t_2=0.08 s,$\frac{x_2}{t_2}=\frac{2.98\ \text{cm}}{0.08\ \text{s}}$=37.25 cm/s,故计数点2的坐标为(0.08 s,37.25 cm),同理得计数点5的坐标为(0.20 s,66.00 cm)。由匀加速直线运动规律可得 $\frac{x}{t}=v_0+\frac{1}{2}at$,故 $\frac{x}{t}-t$ 图为一条倾斜直线,如答案图所示。

④该图像纵轴截距表示小车的速度 v_0=0.18 m/s。斜率 $k=\frac{1}{2}a$=2.40 m/s²,所以 a=4.80 m/s²。

答案 ①A C

②2.98(2.97~2.99) 13.20(13.19~13.21)

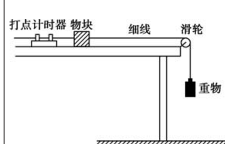
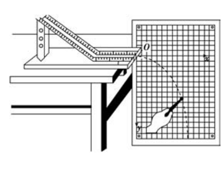
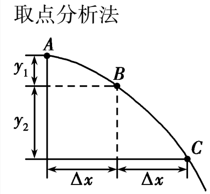
③如图所示



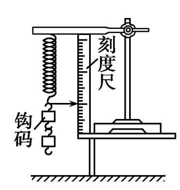
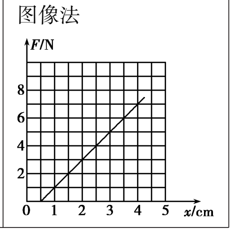
④0.18(0.16~0.20) 4.80(4.50~5.10)

考向二　基本力学实验

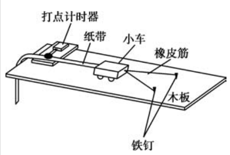
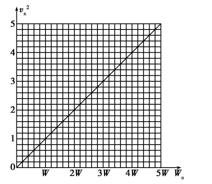
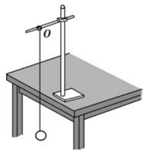
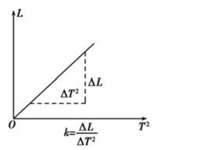
1.研究性实验

实验名称	实验原理	实验装置	数据处理方法
研究匀变速直线运动	通过纸带数据分析运动		(1)利用连续相等时间内的位移之差等于恒量进行有关计算或判断 (2)利用平均速度法求瞬时速度 (3)利用 $\Delta x=aT^2$(或逐差法)求 a (4)利用 $v-t$ 图像求 a
研究平抛运动	轨迹描绘法分析运动		取点分析法  $y_2-y_1=gT^2$ $\Delta x=v_0T$

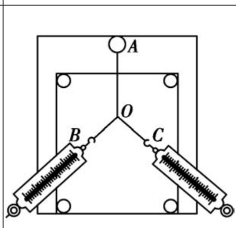
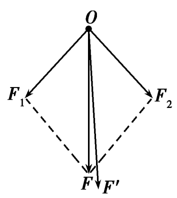
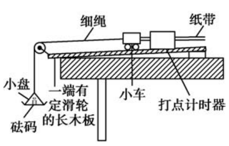
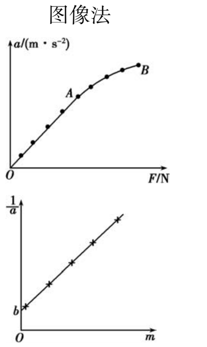
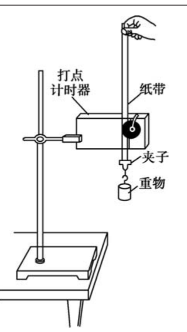
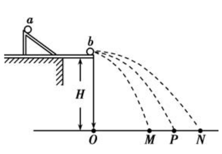
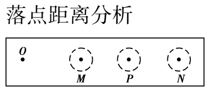
2.探究性实验

实验名称	实验原理	实验装置	数据处理方法
探究弹力和弹簧伸长的关系	$F=kx$		图像法 

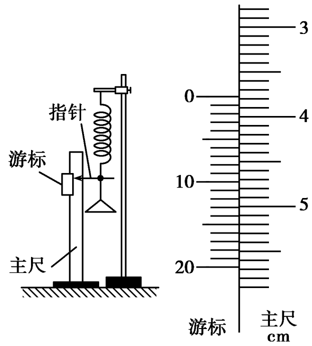
续表

实验名称	实验原理	实验装置	数据处理方法
探究动能定理	$W=\frac{1}{2}mv^2$		图像法 
探究单摆运动	$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$　$g=\frac{4\pi^2 L}{T^2}$		图像法：$g=4\pi^2 k$ 

3.验证性实验

实验名称	实验原理	实验装置	数据处理方法
验证力的平行四边形定则	两力的作用效果与一力相同		作图法 
验证牛顿第二定律	控制变量法验证 $a\propto F$　$a\propto\frac{1}{m}$		图像法 
验证机械能守恒定律	$E_{p少}=E_{k增}$		从几条打下点的纸带中挑选出点迹清楚的纸带进行测量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_n^2$，$\lvert\Delta E_p\rvert=mgd_n$，$v_n=\frac{d_{n+1}-d_{n-1}}{2T}$ 计算对比 → $\lvert\Delta E_p\rvert$ 与 ΔE_k
验证动量守恒定律	$m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'$		落点距离分析  $m_1\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot ON$

例2　(2018课标Ⅰ,22,5分)如图(a),一弹簧上端固定在支架顶端,下端悬挂一托盘;一标尺由游标和主尺构成,主尺竖直固定在弹簧左边;托盘上方固定有一能与游标刻度线准确对齐的装置,简化为图中的指针。



图(a)　　图(b)

现要测量图(a)中弹簧的劲度系数。当托盘内没有砝码时,移动游标,使其零刻度线对准指针,此时标尺读数为1.950 cm;当托盘内放有质量为0.100 kg的砝码时,移动游标,再次使其零刻度线对准指针,标尺示数如图(b)所示,其读数为________cm。当地的重力加速度大小为9.80 m/s^2,此弹簧的劲度系数为________N/m(保留3位有效数字)。

解析　本题考查游标卡尺的读数方法和胡克定律。此标尺为二十分度的标尺,精确度为0.05 mm,读数=整毫米数(主尺)+$n\times$精确度,所以读数为37 mm+15×0.05 mm=37.75 mm=3.775 cm。

当托盘中放入砝码稳定时,弹簧的伸长量 $\Delta x=3.775$ cm−1.950 cm=1.825 cm。由平衡条件得 $F=mg$,由胡克定律得 $F=k\cdot\Delta x$,联立得 $k=53.7$ N/m。

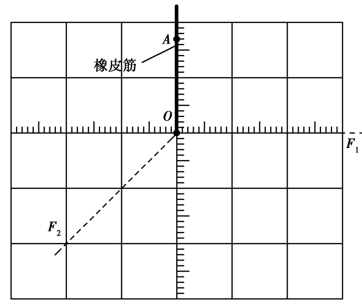
答案　3.775　53.7

例3　(2017课标Ⅲ,22,6分)某探究小组做"验证力的平行四边形定则"实验,将画有坐标轴(横轴为 x 轴,纵轴为 y 轴,最小刻度表示1 mm)的纸贴在水平桌面上,如图(a)所示。将橡皮筋的一端 Q 固定在 y 轴上的 B 点(位于图示部分之外),另一端 P 位于 y 轴上的 A 点时,橡皮筋处于原长。

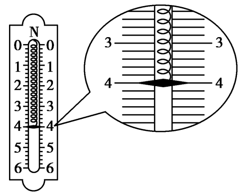
(1)用一只测力计将橡皮筋的 P 端沿 y 轴从 A 点拉至坐标原点 O,此时拉力 F 的大小可由测力计读出。测力计的示数如图(b)所示,F 的大小为______N。

(2)撤去(1)中的拉力,橡皮筋 P 端回到 A 点;现使用两个测力计同时拉橡皮筋,再次将 P 端拉至 O 点。此时观察到两个拉力分别沿图(a)中两条虚线所示的方向,由测力计的示数读出两个拉力的大小分别为 $F_1=4.2$ N和 $F_2=5.6$ N。

(ⅰ)用5 mm长度的线段表示1 N的力,以 O 为作用点,在图(a)中画出力 F_1、F_2 的图示,然后按平行四边形定则画出它们的合力 $F_合$;



图(a)



图(b)

(ⅱ)$F_{合}$ 的大小为______N,$F_{合}$ 与拉力 F 的夹角的正切值为______。

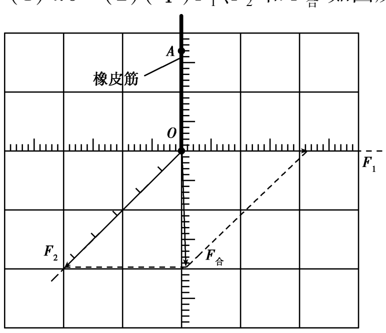
若 $F_{合}$ 与拉力 F 的大小及方向的偏差均在实验所允许的误差范围之内,则该实验验证了力的平行四边形定则。

解析 (1)测力计读数时需要进行估读,此测力计分度值为 0.2 N,则 F 的大小为 4.0 N。

(2)(ⅰ)作力的图示时,要选好标度,再根据 F_1、F_2 的方向及大小作出相应两力的图示,图见答案。分别以 F_1、F_2 为邻边作平行四边形并作出 F_1、F_2 之间的对角线,即得 $F_{合}$。

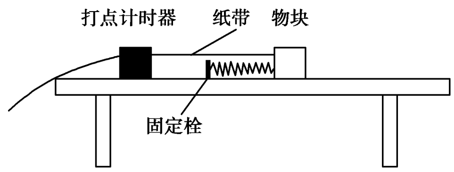
(ⅱ)表示 $F_{合}$ 的线段的长度为 20.0 mm,根据标度算出 $F_{合}$ 大小为 4.0 N。实际合力 F 的方向沿 AO 方向,对角线为 $F_{合}$ 方向,则两者夹角 θ 的正切值 $\tan\theta=\dfrac{F_1\text{长度}-F_2\text{在}F_1\text{所在直线上投影长度}}{F_2\text{在}AO\text{所在直线上投影长度}}=\dfrac{21-20}{20}=0.05$。

答案 (1)4.0 (2)(ⅰ)F_1、F_2 和 $F_{合}$ 如图所示



(ⅱ)4.0 0.05

例 4 (2016 课标Ⅱ,22,6 分)某物理小组对轻弹簧的弹性势能进行探究,实验装置如图(a)所示:轻弹簧放置在光滑水平桌面上,弹簧左端固定,右端与一物块接触而不连接,纸带穿过打点计时器并与物块连接。向左推物块使弹簧压缩一段距离,由静止释放物块,通过测量和计算,可求得弹簧被压缩后的弹性势能。



图(a)

(1)实验中涉及下列操作步骤:

①把纸带向左拉直

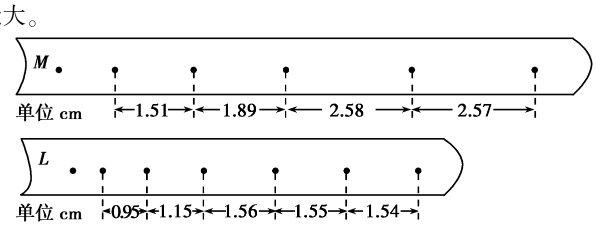
②松手释放物块

③接通打点计时器电源

④向左推物块使弹簧压缩,并测量弹簧压缩量

上述步骤正确的操作顺序是______(填入代表步骤的序号)。

(2)图(b)中 M 和 L 纸带是分别把弹簧压缩到不同位置后所得到的实际打点结果。打点计时器所用交流电的频率为 50 Hz。由 M 纸带所给的数据,可求出在该纸带对应的实验中物块脱离弹簧时的速度为______m/s。比较两纸带可知,______(填"M"或"L")纸带对应的实验中弹簧被压缩后的弹性势能大。



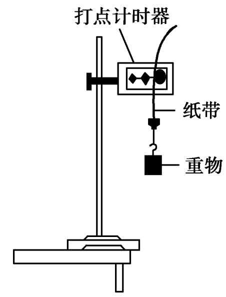
图(b)

解析 (1)实验步骤中,一定要注意接通打点计时器电源之后再松手释放物块。若次序搞反,可能造成物块已离开桌面但打点计时器还没有开始工作。

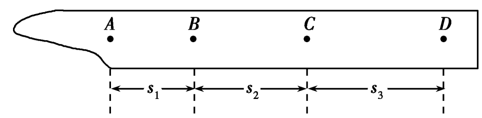
(2)从纸带上看,最后两个数据 2.58 cm、2.57 cm 相差不大,表示物块已经脱离弹簧,所以速度 $v=\dfrac{2.58+2.57}{2\times0.02}\times10^{-2}$ m/s ≈ 1.29 m/s,同理可计算出打下 L 纸带时物块脱离弹簧的速度要小一些。

答案 (1)④①③② (2)1.29 M

例 5 (2016 课标Ⅰ,22,5 分)某同学用图(a)所示的实验装置验证机械能守恒定律,其中打点计时器的电源为交流电源,可以使用的频率有 20 Hz、30 Hz 和 40 Hz。打出纸带的一部分如图(b)所示。



图(a)



图(b)

该同学在实验中没有记录交流电的频率 f,需要用实验数据和其他题给条件进行推算。

(1)若从打出的纸带可判定重物匀加速下落,利用 f 和图(b)中给出的物理量可以写出:在打点计时器打出 B 点时,重物下落的速度大小为________,打出 C 点时重物下落的速度大小为________,重物下落的加速度大小为________。

(2)已测得 $s_1=8.89$ cm,$s_2=9.50$ cm,$s_3=10.10$ cm;当地重力加速度大小为 9.80 m/s^2,实验中重物受到的平均阻力大小约为其重力的 1%。由此推算出 f 为________Hz。

解析 (1)匀变速直线运动中,某一段位移的平均速度等于中间时刻的瞬时速度:$v_B=\dfrac{s_1+s_2}{2T}=\dfrac{1}{2}(s_1+s_2)f$,同理 $v_C=\dfrac{1}{2}(s_2+s_3)f$,加速度 $a=\dfrac{v_C-v_B}{T}=\dfrac{1}{2}(s_3-s_1)f^2$。

(2)由牛顿第二定律可知:$mg-0.01mg=ma$

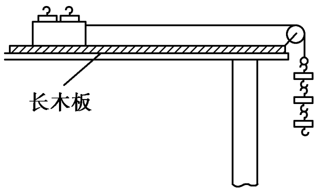
$a=0.99g$ ①

又由(1)问知:$a=\dfrac{(s_3-s_1)f^2}{2}$ ②

①②联立得 $f=40$ Hz

答案 (1)$\dfrac{1}{2}(s_1+s_2)f$ $\dfrac{1}{2}(s_2+s_3)f$ $\dfrac{1}{2}(s_3-s_1)f^2$ (2)40

例 6 (2016 课标Ⅲ,23,10 分)某物理课外小组利用图(a)中的装置探究物体加速度与其所受合外力之间的关系。图中,置于实验台上的长木板水平放置,其右端固定一轻滑轮;轻绳跨过滑轮,一端与放在木板上的小滑车相连,另一端可悬挂钩码。本实验中可用的钩码共有 $N=5$ 个,每个质量均为0.010 kg。实验步骤如下:



图(a)

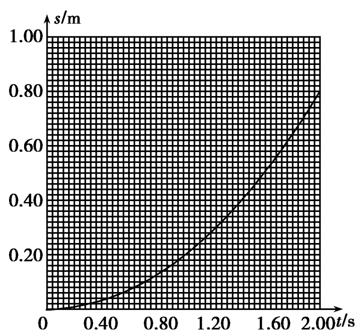
(1)将 5 个钩码全部放入小车中,在长木板左下方垫上适当厚度的小物块,使小车(和钩码)可以在木板上匀速下滑。

(2)将 n(依次取 $n=1,2,3,4,5$)个钩码挂在轻绳右端,其余 $N-n$ 个钩码仍留在小车内;用手按住小车并使轻绳与木板平行。释放小车,同时用传感器记录小车在时刻 t 相对于其起始位置的位移 s,绘制 $s-t$ 图像,经数据处理后可得到相应的加速度 a。

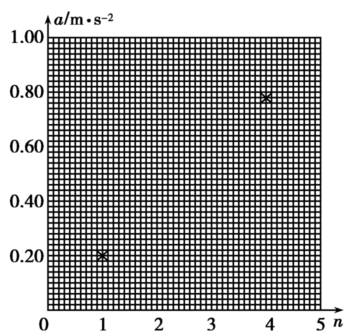
(3)对应于不同的 n 的 a 值见下表。$n=2$ 时的 $s-t$ 图像如图(b)所示;由图(b)求出此时小车的加速度(保留 2 位有效数字),将结果填入下表。

n	1	2	3	4	5
$a/\mathrm{m\cdot s^{-2}}$	0.20		0.58	0.78	1.00

(4)利用表中的数据在图(c)中补齐数据点,并作出 $a-n$ 图像。从图像可以看出:当物体质量一定时,物体的加速度与其所受的合外力成正比。



图(b)



图(c)

(5)利用 $a-n$ 图像求得小车(空载)的质量为______kg(保留 2 位有效数字,重力加速度取 $g=9.8\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$)。

(6)若以"保持木板水平"来代替步骤(1),下列说法正确的是______(填入正确选项前的标号)。

A.$a-n$ 图线不再是直线

B.$a-n$ 图线仍是直线,但该直线不过原点

C.$a-n$ 图线仍是直线,但该直线的斜率变大

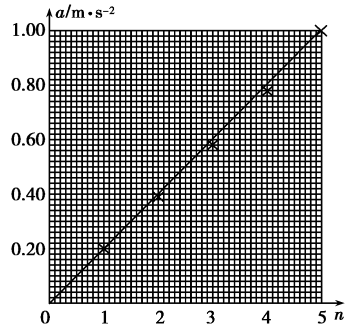
解析　(3)由 $s=\frac{1}{2}at^2$ 得:$a=\frac{2s}{t^2}$,在 $s-t$ 图像中找一点坐标,代入公式即可求出 a。

(5)对小车和钩码组成的系统应用牛顿第二定律:$nmg=(M+Nm)a$,则 $a=\frac{nmg}{M+Nm}=\frac{0.098n}{M+0.05}$,$a-n$ 图像的斜率 $k=\frac{0.098}{M+0.05}$,从而可解出 M。

(6)对于已平衡摩擦力的情况,对整体应用牛顿第二定律:$nmg=(M+Nm)a$,则 $a=\frac{mg}{M+Nm}n$①;对于木板水平的情况,对整体应用牛顿第二定律:$nmg-\mu[M+(N-n)m]g=(M+Nm)a$,整理得:$a=\frac{(1+\mu)mg}{M+Nm}n-\mu g$②,比较①②可见,B、C 均正确。

答案　(3)0.39(2 分。在 0.37~0.49 范围内都给分)

(4)如图所示(3 分)



(5)0.45(3 分。在 0.43~0.47 范围内都给分)

(6)BC(2 分。选对一个给 1 分,有选错的不给这 2 分)

易错点拨　(3)(5)中的计算结果一定要按照有效数字的位数要求填写。画 $a-n$ 图像时,所画直线要符合以下要求:让尽可能多的点落在直线上;不能落在直线上的点要均匀分布于直线的两侧;一定要利用直尺画线。

考点二　电学实验

考向基础

一、螺旋测微器和游标卡尺

(一)螺旋测微器(千分尺)

1.原理:利用螺旋转动,将微小的直线位移转化为角度变化,并在较大的圆周上对其进行显示。取螺纹的螺距为 0.5 mm,即测微螺杆旋转一周时前进或后退 0.5 mm,将螺旋分成 50 等份,每一等份表示直线位移变化 $\frac{0.5}{50}$ mm=0.01 mm,即螺旋测微器分度值是 0.01 mm。测量时要估读到千分位,故而得名"千分尺"。

2.读数规则

(1)以鼓轮边缘为准在固定刻度上读出整毫米数。

(2)从可动刻度上读出毫米以下的小数。

(3)测量长度为上述二者之和。

(4)如果半毫米刻线露出,还要加上 0.5 mm。

(二)游标卡尺

1.原理:在同样长度的主尺和游标尺上分成不同的等份,利用它们每一等份长度上的差异,来读出较精确的测量数据。譬如,50 分度游标尺上 50 个分度只有主尺的 49 mm 长,则游标尺上每个分度比主尺上每个分度短 $\frac{1}{50}$ mm=0.02 mm,将这个差异称为精度,即它的测量精度为 0.02 mm。根据游标尺上的分度格数,常把游标卡尺分为 10 分度的、20 分度的和 50 分度的三种,它们的精度分别为 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm。

2.读数规则

(1)以游标尺零刻线位置为准,在主尺上读取整毫米数。

(2)若游标尺上第 n 条刻线与主尺上某一刻线(不管是第几条刻线)对齐,则由游标尺上读出毫米以下的小数为 $n\times$精度(0.1 mm、0.05 mm 或 0.02 mm)。

(3)总的读数为毫米整数加上毫米小数。

不管是10分度游标卡尺,还是20分度、50分度游标卡尺,在读数时均不需要向后估读一位。

二、测定金属的电阻率

实验原理

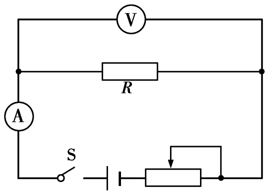
用毫米刻度尺测一段金属丝的长度 L,用螺旋测微器测金属丝的直径 d,用伏安法测金属丝的电阻 R,由 $R=\rho\dfrac{L}{S}$,得 $\rho=\dfrac{RS}{L}=\dfrac{\pi\cdot d^2R}{4L}$。

实验步骤

1.用螺旋测微器在金属丝的三个不同位置上各测一次,取直径 d 的平均值,然后计算出金属丝的横截面积 S。

2.将金属丝两端固定在接线柱上悬空挂直,用毫米刻度尺测量接入电路的金属丝长度(即有效长度),反复测量三次,求出平均值 L。

3.依照图示连好电路,并把滑动变阻器的阻值调至最大。



4.实验时,读出几组相应的电流表、电压表的 I 和 U 的值,记入记录表格内,断开开关S,求出电阻 R 的平均值。

5.将测得的 R、L、d 值,代入电阻率计算公式 $\rho=\dfrac{RS}{L}=\dfrac{\pi\cdot d^2R}{4L}$ 中,计算出金属丝的电阻率。

注意事项

1.本实验中被测金属丝的电阻值较小,为了减小实验的系统误差,必须采用电流表外接法。

2.测量被测金属丝的有效长度,是指测量待测金属丝接入电路的两个端点之间的长度。

3.在用伏安法测电阻时,通过待测金属丝的电流 I 应从小到大变化且不宜过大(电流表用0~0.6 A量程),通电时间不宜过长,以免金属丝的温度过高,造成其电阻率在实验过程中增大。

4.求 R 的平均值可用两种方法:第一种是算出各次的测量值,再取平均值,第二种是用 $U-I$ 图像(图线)的斜率来求出。

误差分析——误差来源

1.直径的测量。

2.长度的测量。

3.测量电路中电流表及电压表对电阻测量的影响。

4.通电电流的大小不同,通电时间的长短不同,致使金属丝发热而温度不同,电阻率随之变化。

由于本实验采用电流表外接法,所以 $R_{测}<R_{真}$,由 $\rho=\dfrac{RS}{L}$,可知 $\rho_{测}<\rho_{真}$。

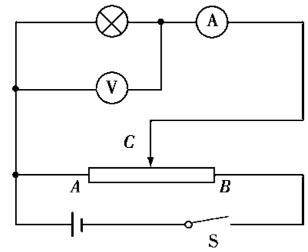
三、描绘小灯泡的伏安特性曲线

实验原理

在纯电阻电路中,电阻两端的电压与通过电阻的电流是线性关系,但在实际电路中,由于各种因素的影响,$I-U$ 图像不再是一条直线。读出若干组通过小灯泡的电流 I 和其两端的电压 U 的值,然后在坐标纸上以 I 为纵轴,以 U 为横轴画出 $I-U$ 曲线。

实验步骤

1.适当选择电流表、电压表的量程,采用电流表的外接法,按图中所示的电路原理图连接好实验电路。



2.改变滑动变阻器滑片的位置,读出几组相应的电流表和电压表的示数 I 和 U 的值,记入记录表格内,断开开关S。

3.在坐标纸上建立一个直角坐标系,纵轴表示电流 I,横轴表示电压 U,将所测数据在坐标纸上描点,用平滑曲线将各数据点连接起来,便得到伏安特性曲线。

注意事项

1.本实验要作出 $I-U$ 图线,要求测出几组包括零在内的电流、电压值,因此,变阻器要采用分压接法。

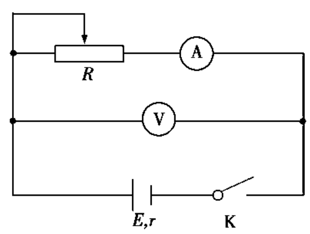
2.本实验中,被测小灯泡电阻较小,因此实验电路必须采用电流表的外接法。

3.开关闭合前滑动变阻器滑片移到分压为零的一端。

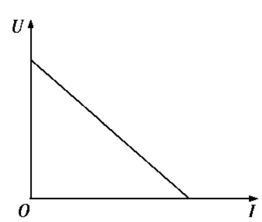
四、测定电源的电动势和内阻

实验原理

如图所示,改变 R 的阻值,从电压表和电流表中读出几组 U、I 值,利用闭合电路欧姆定律 $U=E-Ir$ 求出几组 E、r 值,最后分别算出它们的平均值。



用作图法来处理数据:即在坐标纸上以 I 为横坐标、U 为纵坐标,用测出的几组 I、U 值画出 $U-I$ 图像。如图所示,所得直线跟纵轴的交点即为电动势的值,图线斜率的绝对值即为内阻 r 的值。



实验步骤

1.电流表用0.6 A量程,电压表用3 V量程,按实验电路图连接好电路。

2.把滑动变阻器的滑片移到使阻值最大的一端。

3.闭合开关,调节滑动变阻器,使电流表有明显示数,记录一组数据(I、U),用同样方法测量几组 I、U 值,记录在自己设计的表格中。

4.断开开关,整理好器材。

5.处理数据,用公式法和作图法两种方法求出电动势和内阻的值。

注意事项

1.为了使电池的路端电压变化明显,电池的内阻宜大些(选用已使用过一段时间的干电池)。

2.画出 U-I 图像,要使较多的点落在这条直线上,不在直线上的点均匀分布在直线的两侧,个别偏离直线太远的点可舍去不考虑。这样,就可减小偶然误差,提高精确度。

3.计算内阻时,要在直线上任取两个相距较远的点,用 $r=\frac{|\Delta U|}{|\Delta I|}$ 计算出电源的内阻 r。

误差分析

测量电路存在系统误差,未考虑电压表的分流,使得电流的测量值小于真实值,则电动势的测量值小于真实值,内阻的测量值小于真实值。

五、练习使用多用电表

实验原理

1.测电阻的依据是闭合电路欧姆定律;测电流和电压的依据是串联和并联的特点及部分电路欧姆定律。

2.二极管的特性是单向导电性,当二极管加上一定的反向电压时,它的电阻值变得很大,就像断开的开关一样。

实验步骤

1.多用电表的使用

(1)观察多用电表,认识多用电表的表盘、选择开关及其量程。

(2)测量前,检查表头的机械零点,正常情况下表针应停在左端零刻线上,否则要用小螺丝刀轻轻转动表盘下边中间部位的调零螺丝,使表针指零。

(3)测量时,把选择开关旋到相应的测量项目上。

使用电压挡时,应使多用电表同用电器并联。测量直流电压时,还要让红表笔接在用电器电势较高的一端。使用电流挡时,要使多用电表与用电器串联,且要让电流从红表笔流入,从黑表笔流出。

2.用多用电表探测黑箱内的元件

(1)了解二极管的导电特性。

(2)将多用电表的选择开关置于直流电压挡,将两表笔分别与黑箱上的 A、B、C 三个点中的两个点连接,判断黑箱内有无电源。

(3)将多用电表的选择开关置于欧姆挡,将两表笔分别与黑箱上的 A、B、C 三个点中的两个点连接,读出欧姆表上的读数。将表笔反接后,根据欧姆表示数是否变化来判断黑箱中是否有二极管。

注意事项

1.使用多用电表前,应观察指针是否指在左端的零刻线上,若有偏差,应用螺丝刀调节多用电表中间的调零螺丝,使多用电表的指针指在左端的零刻线处。

2.测电阻时,待测电阻要跟别的元件和电源断开,不能用手接触表笔的金属杆。

3.合理选择欧姆挡的量程,使指针尽量指在表盘中央位置附近。

4.换用欧姆挡的另一倍率时,一定要重新进行欧姆调零,才能进行测量。

5.欧姆表读数时,应将表针所指示数乘以选择开关所指的倍率。

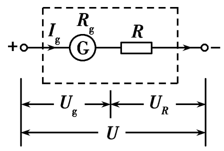
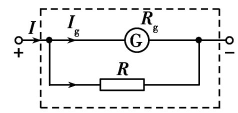
6.测量完毕时,要把表笔从测试孔中拔出,选择开关应置于交流电压最高挡或 OFF 挡,若长期不用时,还应把电池取出。

考向突破

考向一　基本仪器的原理及使用

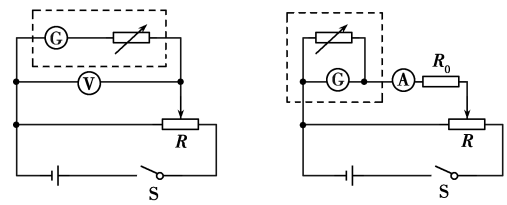
一、电流表与电压表的改装

1.改装方案

	改装为电压表	改装为大量程电流表
原理	串联电阻分压	并联电阻分流
改装原理图		
分压电阻或分流电阻	$U=I_gR_g+I_gR$ 所以 $R=\frac{U}{I_g}-R_g$	$I_gR_g=(I-I_g)R$ 所以 $R=\frac{I_gR_g}{I-I_g}$
改装后电表内阻	$R_V=R_g+R>R_g$	$R_A=\frac{RR_g}{R+R_g}<R_g$

2.校正

校正电路如图所示



甲　　　　乙

二、欧姆表原理

1.构造:欧姆表主要由电流表 G、电池、调零电阻 R 和红、黑表笔组成。

欧姆表内部:电流表、电池、调零电阻串联;

外部:接被测电阻 R_x。

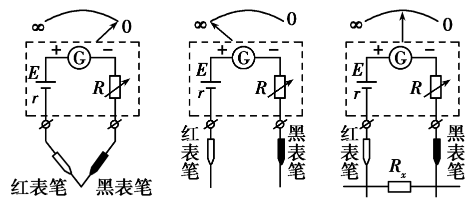
2.工作原理:闭合电路欧姆定律,$I=\frac{E}{R_g+R+r+R_x}$。

3.刻度的标定:红、黑表笔短接(被测电阻 $R_x=0$)时,调节调零电阻 R,使 $I=I_g$,电流表的指针达到满偏,这一过程叫欧姆调零。

(1)当 $I=I_g$ 时,$R_x=0$,在满偏电流 I_g 处标为"0"。

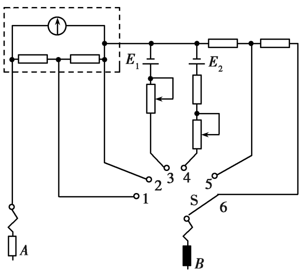
(2)当 $I=0$ 时,$R_x\to\infty$,在 $I=0$ 处标为"∞"。

(3)当 $I=\frac{I_g}{2}$ 时,$R_x=R_g+R+r$,此时电阻值等于欧姆表的内电阻,R_x 叫中值电阻。



甲　　　　乙　　　　丙

三、多用电表的原理图



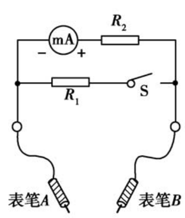
例1 某同学用量程为1 mA、内阻为120 Ω的表头按图(a)所示电路改装成量程分别为1 V和1 A的多用电表。图中R_1和R_2为定值电阻,S为开关。回答下列问题:

(1)根据图(a)所示的电路,在图(b)所示的实物图上连线。

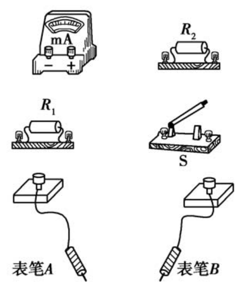
(2)开关S闭合时,多用电表用于测量________(填"电流"、"电压"或"电阻");开关S断开时,多用电表用于测量________(填"电流"、"电压"或"电阻")。

(3)表笔A应为________色(填"红"或"黑")。

(4)定值电阻的阻值R_1=________Ω,R_2=________Ω。(结果取3位有效数字)



图(a)



图(b)

解析 (1)见答案。

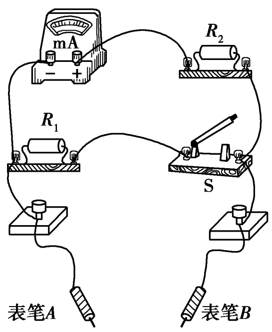
(2)开关S闭合时,表头和R_2串联后与R_1并联,为电流表,因此用于测量电流;当开关S断开时,R_2与表头串联,为电压表,因此用于测量电压。

(3)电流应从红表笔流入电表,从黑表笔流出电表,因此表笔A应为黑色。

(4)开关S断开时为电压表,$U=I_g(R_g+R_2)$,解得R_2=880 Ω;

开关S闭合时为电流表,$R_1=\frac{I_g(R_g+R_2)}{I-I_g}=1.00\ \Omega$。

答案 (1)连线如图所示

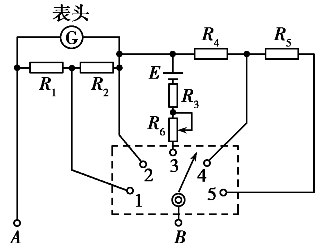


(2)电流 电压

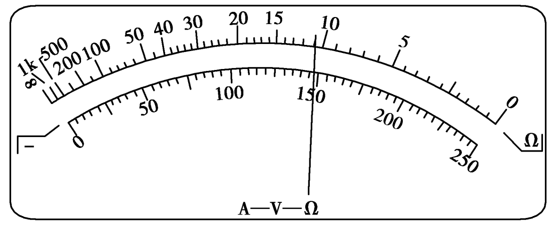
(3)黑

(4)1.00 880

例2 (2017课标Ⅲ,23,9分)图(a)为某同学组装完成的简易多用电表的电路图。图中E是电池;R_1、R_2、R_3、R_4和R_5是固定电阻,R_6是可变电阻;表头Ⓖ的满偏电流为250 μA,内阻为480 Ω。虚线方框内为换挡开关,A端和B端分别与两表笔相连。该多用电表有5个挡位,5个挡位为:直流电压1 V挡和5 V挡,直流电流1 mA挡和2.5 mA挡,欧姆×100 Ω挡。



图(a)



图(b)

(1)图(a)中的A端与______(填"红"或"黑")色表笔相连接。

(2)关于R_6的使用,下列说法正确的是______(填正确答案标号)。

A.在使用多用电表之前,调整R_6使电表指针指在表盘左端电流"0"位置

B.使用欧姆挡时,先将两表笔短接,调整R_6使电表指针指在表盘右端电阻"0"位置

C.使用电流挡时,调整R_6使电表指针尽可能指在表盘右端电流最大位置

(3)根据题给条件可得R_1+R_2=______Ω,R_4=______Ω。

(4)某次测量时该多用电表指针位置如图(b)所示。若此时B端是与"1"相连的,则多用电表读数为______;若此时B端是与"3"相连的,则读数为______;若此时B端是与"5"相连的,则读数为______。(结果均保留3位有效数字)

解析 本题考查电表的改装与应用。

(1)为了确保电表"红"进"黑"出,A端应与"黑"色表笔相连接。

(2)R_6应是欧姆挡的欧姆调零电阻,故B项正确。

(3)当换挡开关接2时,为直流电流1 mA挡,满足$I_gR_g=(I-I_g)(R_1+R_2)$,得$R_1+R_2=160\ \Omega$。

当换挡开关接4时,为直流电压1 V挡,则满足$U=I(R_{并}+R_4)$,$R_{并}=120\ \Omega$,得$R_4=880\ \Omega$。

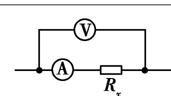
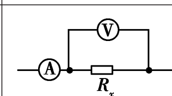
(4)若B端与"1"相连,则为直流电流2.5 mA挡,由1/5估读法可得读数为1.47 mA。若B端与"3"相连,则为欧姆×100 Ω挡,可得读数为$1.10\times10^3\ \Omega$。若B端与"5"相连,则为直流电压5 V挡,可得读数为2.95 V。

答案 (1)黑 (2)B (3)160 880

(4)1.47 mA $1.10\times10^3\ \Omega$ 2.95 V

考向二 测量电阻和描绘小灯泡的伏安特性曲线

1.电流表的内外接法

	电流表内接法	电流表外接法
电路图		

续表

	电流表内接法	电流表外接法
误差原因	电流表分压 $U_{测}=U_x+U_A$	电压表分流 $I_{测}=I_x+I_V$
电阻测量值	$R_{测}=\frac{U_{测}}{I_{测}}=R_x+R_A>R_x$ 测量值大于真实值	$R_{测}=\frac{U_{测}}{I_{测}}=\frac{R_xR_V}{R_x+R_V}<R_x$ 测量值小于真实值
适用条件	$R_A \ll R_x$(大电阻用内接法测量,测量值偏大)	$R_V \gg R_x$(小电阻用外接法测量,测量值偏小)

2.伏安法测电阻的电路选择方法

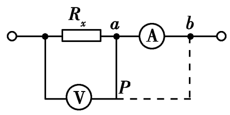
(1)阻值比较法:先将待测电阻的估计值与电压表、电流表的内阻进行比较,若 R_x 较小,宜采用电流表外接法;若 R_x 较大,宜采用电流表内接法。

(2)临界值计算法:

$R_x<\sqrt{R_VR_A}$ 时,用电流表外接法。

$R_x>\sqrt{R_VR_A}$ 时,用电流表内接法。

(3)实验试探法:按图接好电路,让电压表接线柱 P 先后与 a、b 处接触一下,如果电压表的示数有较大的变化,而电流表的示数变化不大,则可采用电流表外接法;如果电流表示数有较大的变化,而电压表示数变化不大,可采用电流表内接法。



3.描绘伏安特性曲线应注意的事项

(1)电流表外接法:本实验中被测小灯泡灯丝的电阻值较小,因此测量电路必须采用电流表外接法。

(2)滑动变阻器应采用分压式连接

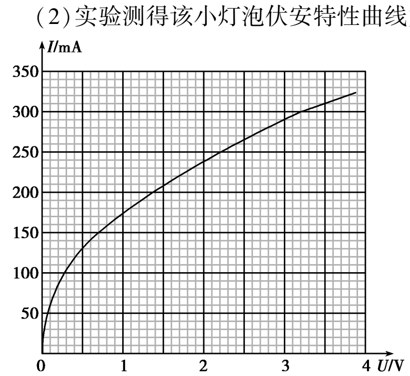
本实验要作出 I-U 图线,要求测出一组包括零在内的电流、电压值,故控制电路必须采用分压接法。

(3)保护元件安全:为保护元件不被烧毁,开关闭合前变阻器滑片应位于有效阻值为零的一端。加在小灯泡两端的电压不要超过其额定电压。

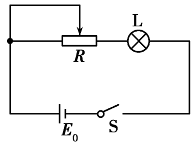
例 3 (2017 课标Ⅰ,23,10 分)某同学研究小灯泡的伏安特性。所使用的器材有:小灯泡 L(额定电压 3.8 V,额定电流 0.32 A);电压表Ⓥ(量程 3 V,内阻 3 kΩ);电流表Ⓐ(量程 0.5 A,内阻 0.5 Ω);固定电阻 R_0(阻值 1 000 Ω);滑动变阻器 R(阻值 0~9.0 Ω);电源 E(电动势 5 V,内阻不计);开关 S;导线若干。

(1)实验要求能够实现在 0~3.8 V 的范围内对小灯泡的电压进行测量,画出实验电路原理图。

(2)实验测得该小灯泡伏安特性曲线如图(a)所示。



图(a)



图(b)

由实验曲线可知,随着电流的增加小灯泡的电阻________(填"增大""不变"或"减小"),灯丝的电阻率________(填"增大""不变"或"减小")。

(3)用另一电源 E_0(电动势 4 V,内阻 1.00 Ω)和题给器材连接成图(b)所示的电路,调节滑动变阻器 R 的阻值,可以改变小灯泡的实际功率。闭合开关 S,在 R 的变化范围内,小灯泡的最小功率为________W,最大功率为________W。(结果均保留 2 位小数)

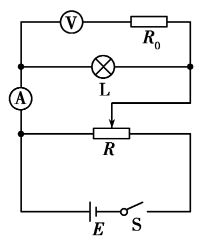
解析 本题考查电路设计及伏安特性曲线的应用。

(1)先考虑测量电路,由于小灯泡的额定电压为 3.8 V,而电压表的量程只有 3 V,但其内阻已知,由给定器材规格可知,可串联固定电阻 R_0 将其改装为量程 4 V 的电压表。因小灯泡的电阻较小,采用电流表外接法。再考虑控制电路,由于实验中电压需从 0 开始变化,故控制电路需采用分压式。

(2)由 $R=\frac{U}{I}$ 知 I-U 图线的斜率表示电阻的倒数,故随着电流的增加小灯泡电阻逐渐增大。再由 $R=\rho\frac{L}{S}$ 可知,在 L、S 不变的情况下,R 增大的原因只能是电阻率 ρ 增大。

(3)当 R 全部电阻接入电路时,通过灯泡的电流最小,灯泡实际消耗的功率最小。设此时灯泡两端电压为 U、通过的电流为 I,由闭合电路欧姆定律得 $E_0=U+I(R+r)$,代入数据得 $I=0.4-0.1U$,在灯泡的伏安特性曲线坐标系中作出 $I=0.4-0.1U$ 的图线,两图线的交点坐标即此时灯泡两端电压与通过灯泡的电流,有 $U=1.75$ V、$I=225$ mA,故最小功率为 $P_{min}=IU=0.39$ W。当 R 接入电路中的阻值等于 0 时,电路中电流最大、灯泡实际消耗的功率最大。同理可得 $P_{max}=1.17$ W。

答案 (1)实验电路原理图如图所示



(2)增大　增大

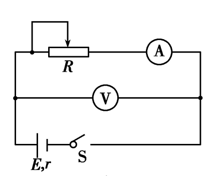
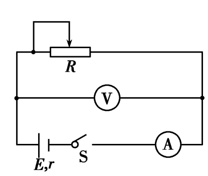
(3)0.39　1.17

方法技巧　伏安特性曲线的应用

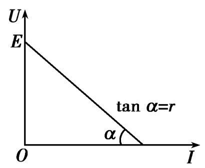
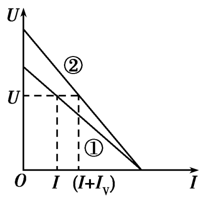
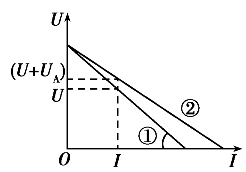
当将伏安特性曲线已知的器件接入电路时,器件两端电压与通过器件的电流之间的关系既要受到伏安特性曲线的限制,又要受到闭合电路欧姆定律的限制,从数学角度说,器件两端电压与通过器件的电流是两方程组成的方程组的解,而从图线角度说,即两图线交点的坐标,故在求解非线性元件的阻值、功率时,可通过作图解决。

考向三　测电源的电动势和内阻

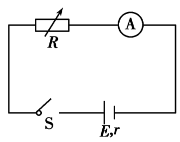
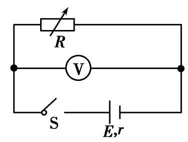
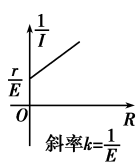
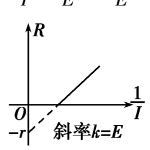
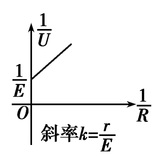
1.伏安法

	电流表外接	电流表内接
电路图	 甲	 乙

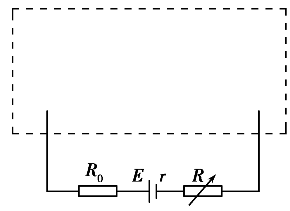
续表

	电流表外接	电流表内接
测量原理	原理:$U_1=E-I_1r$　$U_2=E-I_2r$ 所以测量值 $E=\frac{U_1I_2-U_2I_1}{I_2-I_1}$　$r=\frac{U_1-U_2}{I_2-I_1}$ 使用条件:如果电源内阻 $r\ll R_V$,则用甲电路;如果电源内阻 $r\gg R_A$ 或 R_A 已知,则用乙电路	
数据处理		
图像分析误差	 ①为测量线;②为真实线 $E_测<E_真$,$r_测<r_真$	 ①为测量线;②为真实线 $E_测=E_真$,$r_测>r_真$

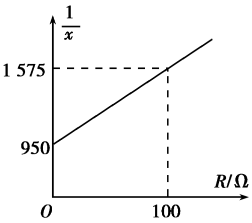
2.一电表一电阻箱法

实验电路		
实验原理	$E=I_1(R_1+r)$ $E=I_2(R_2+r)$ $E=\frac{I_1I_2(R_1-R_2)}{I_2-I_1}$ $r=\frac{I_1R_1-I_2R_2}{I_2-I_1}$	$E=U_1+\frac{U_1}{R_1}r$ $E=U_2+\frac{U_2}{R_2}r$ $E=\frac{U_1U_2(R_1-R_2)}{U_2R_1-U_1R_2}$ $r=\frac{R_1R_2(U_1-U_2)}{U_2R_1-U_1R_2}$
图像	 $\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{1}{E}r$  $R=E\cdot\frac{1}{I}-r$	 $\frac{1}{U}=\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}+\frac{1}{E}$

例4 (2019江西协作体一模,23)某同学用化学课所学的知识,用柠檬自制了一个水果电池,用多用电表粗测得知它的电动势 E 约为3 V,内阻 r 约为40 Ω,若该电池允许输出的最大电流为20 mA,为了测定该电池的电动势和内阻,某同学准备了如下器材:



甲



乙

A.待测电池

B.电压表V:量程0~15 V,内阻 $R_V\approx15$ kΩ

C.电流表A:量程0~1 mA,内阻 $R_A=38$ Ω

D.电阻箱 R:0~999.9 Ω

E.定值电阻 $R_1=2$ Ω

F.定值电阻 $R_2=19$ Ω

G.定值电阻 $R_3=72$ Ω

H.定值电阻 $R_4=108$ Ω

I.开关、导线若干

(1)该同学设计的部分电路如图甲所示,图中保护电阻 R_0 应选择器材中的________(填写器材前的选项字母)。

(2)选择合适的器材,将虚线框中的电路补充完整,并在电路中注明所选器材的符号。

(3)将电阻箱的阻值调整到最大,闭合开关。

(4)调节电阻箱的电阻,使所选电表指针指到某一位置,记录此时电阻箱的阻值 R 和所选电表的读数 x,电表读数用国际单位制单位(A或V)。

(5)重复步骤(4)获得多组 R 和 x 的值。

(6)断开开关,整理器材。

(7)根据所得数据在 $\frac{1}{x}-R$ 坐标系中描点连线,如图乙所示。

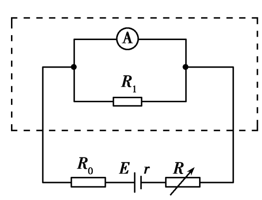
根据图线可求得该电池的电动势 $E=$________V,内阻 $r=$________Ω。(结果均保留一位小数)

解析 (1)保护电阻 R_0 的阻值 $R_0=\frac{E}{I_m}-r=110$ Ω,接近108 Ω,故选H。

(2)由于电压表量程太大,故不采用;电流表量程太小,必须扩大量程,根据电表改装原理,应给电流表并联一定值电阻,$R=\frac{I_AR_A}{I_m-I_A}=2$ Ω,故并联电阻 R_1;电路如答案图。

(7)根据闭合电路欧姆定律,有 $E=20x(R_0+r+R+R_并)$,其中 $R_并$ 为电流表内阻与 R_1 的并联值,大小为1.9 Ω,整理可得 $\frac{1}{x}=\frac{20}{E}(R_0+r+R_并)+\frac{20}{E}R$,结合图像可知斜率 $k=20/E$,截距 $\frac{20}{E}(R_0+r+r_并)=950$ A^{-1},联立可得 $E=3.2$ V,$r=42.1$ Ω。

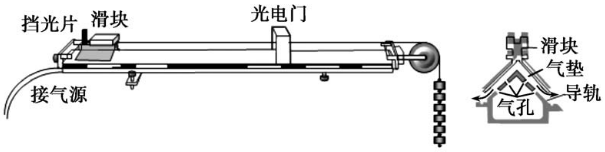
答案 (1)H (2)如图所示 (7)3.2 42.1



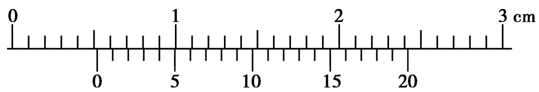
考点集训　对应学生用书起始页码 170

考点一　力学实验

1. 如图所示，在水平放置的气垫导轨（能大幅度地减小摩擦阻力）上有一带有方盒的滑块，质量为 M，气垫导轨右端固定一定滑轮，细线绕过滑轮，一端与滑块相连，另一端挂有 6 个钩码，设每个钩码的质量为 m，且 $M=4m$。



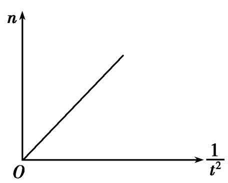
（1）用游标卡尺测出滑块上的挡光片的宽度，读数如图所示，则宽度 $d=$________cm；



（2）某同学打开气源，将滑块由静止释放，滑块上的挡光片通过光电门的时间为 t，则滑块通过光电门的速度为________（用题中所给字母表示）；

（3）开始实验时，细线另一端挂有 6 个钩码，由静止释放后细线上的拉力为 F_1，接着每次实验时将 1 个钩码移放到滑块上的方盒中，当只剩 3 个钩码时细线上的拉力为 F_2，则 F_1________$2F_2$（选填“大于”、“等于”或“小于”）；

（4）若每次移动钩码后都从同一位置释放滑块，设挡光片距光电门的距离为 L，悬挂着的钩码的个数为 n，测出每次挡光片通过光电门的时间为 t，测出多组数据，并绘出 $n-\frac{1}{t^2}$ 图像，已知图线斜率为 k，则当地重力加速度为________（用题中字母表示）。



答案　（1）0.520　（2）$\frac{d}{t}$　（3）小于　（4）$\frac{5d^2}{kL}$

解析　（1）游标卡尺的主尺读数为 5 mm，游标尺读数为 0.05×4 mm $=0.20$ mm，则最终读数为 5.20 mm $=0.520$ cm。

（2）极短时间内的平均速度等于瞬时速度的大小，滑块通过光电门的速度 $v=\frac{d}{t}$。

（3）细线一端挂 6 个钩码时，对钩码和滑块整体分析，$a_1=\frac{6mg}{M+6m}=0.6g$，隔离滑块分析，根据牛顿第二定律得，$F_1=Ma_1=4m\times0.6g=2.4mg$；同理，细线另一端挂 3 个钩码，滑块上的方盒中放 3 个钩码时，$a_2=\frac{3mg}{M+6m}=0.3g$，$F_2=Ma_2=7m\times0.3g=2.1mg$，知 $F_1<2F_2$。

（4）滑块通过光电门的速度 $v=\frac{d}{t}$，根据 $v^2=2aL$ 得，$\frac{d^2}{t^2}=2aL$，因为 $a=\frac{nmg}{10m}=\frac{ng}{10}$，解得 $n=\frac{5d^2}{gLt^2}$，则 $k=\frac{5d^2}{gL}$，得 $g=\frac{5d^2}{kL}$。

2. [2018 天津理综，9(2)] 某研究小组做“验证力的平行四边形定则”实验，所用器材有：方木板一块，白纸，量程为 5 N 的弹簧测力计两个，橡皮条（带两个较长的细绳套），刻度尺，图钉（若干个）。

①具体操作前，同学们提出了如下关于实验操作的建议，其中正确的有________。

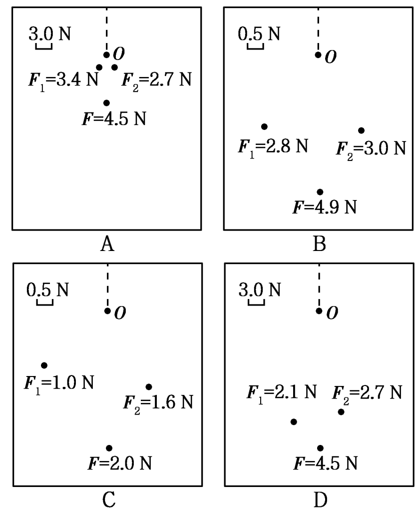
A.橡皮条应和两绳套夹角的角平分线在一条直线上

B.重复实验再次进行验证时，结点 O 的位置可以与前一次不同

C.使用测力计时，施力方向应沿测力计轴线；读数时视线应正对测力计刻度

D.用两个测力计互成角度拉橡皮条时的拉力必须都小于只用一个测力计时的拉力

②该小组的同学用同一套器材做了四次实验，白纸上留下的标注信息有结点位置 O、力的标度、分力和合力的大小及表示力的作用线的点，如下图所示。其中对于提高实验精度最有利的是________。



答案　①BC　②B

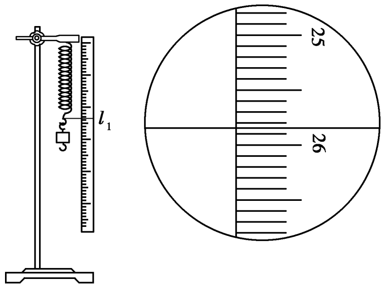
解析　本题考查“验证力的平行四边形定则”实验。

①橡皮条的弹力方向不需要在两绳套夹角的角平分线上，选项 A 错误；重复实验，结点 O 的位置与上次实验无关，可以不同，选项 B 正确；使用测力计时，为避免弹簧与外壳的摩擦，要求施力方向应沿测力计轴线方向，读数时视线应正对测力计刻度，选项 C 正确；拉力小于弹簧测力计的量程即可，选项 D 错误。

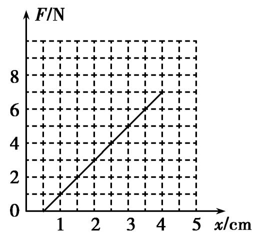
②“验证力的平行四边形定则”实验中，在不超测力计量程的前提下，拉力应尽量大些；确定拉力方向时，所描点应与 O 点的距离大些；两绳套夹角不能过大或过小；作图示时，所选标度越小，精度越高。综上所述，应选 B。

知识拓展　在“验证力的平行四边形定则”实验中，选取合适的标度，按比例作平行四边形，求 F_1 和 F_2 的合力，而力 F 方向应与橡皮条方向共线。

3. (2020 届安徽四校联考，23)（1）某同学在探究“弹力和弹簧伸长的关系”时，安装好实验装置，让刻度尺零刻度与弹簧上端平齐，在弹簧下端挂 1 个钩码，静止时弹簧长度为 l_1，如图甲所示，图乙是此时固定在弹簧挂钩上的指针在刻度尺（分度值是 1 毫米）上位置的放大图，示数 $l_1=$________cm。在弹簧下端分别挂 2 个、3 个、4 个、5 个相同钩码，静止时弹簧长度分别是 l_2、l_3、l_4、l_5。要得到弹簧伸长量 x，还需要测量的是________。作出 $F-x$ 图线，得到弹力与弹簧伸长量的关系。



甲　　　　乙



丙

(2)该同学更换弹簧,进行重复实验。得到如图丙所示的弹簧弹力 F 与伸长量 x 的关系图线,由此可求出该弹簧的劲度系数为________N/m。图线不过原点的原因是________。

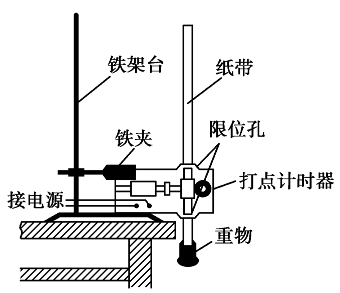
答案　(1)25.85　弹簧原长　(2)200　弹簧有自重

解析　本题考查了探究"弹力和弹簧伸长的关系",体现了科学探究中证据要素。

(1)由毫米刻度尺的读数方法可知图乙中的读数为25.85 cm;本实验中要得到弹簧的形变量,故还应测量弹簧的原长。

(2)由图像可知,斜率表示弹簧的劲度系数 $k=\frac{7}{0.035}$ N/m=200 N/m;图线不过原点是由于弹簧有自重,使弹簧变长。

4.[2017天津理综,9(2)]如图所示,打点计时器固定在铁架台上,使重物带动纸带从静止开始自由下落,利用此装置验证机械能守恒定律。



①对于该实验,下列操作中对减小实验误差有利的是______。

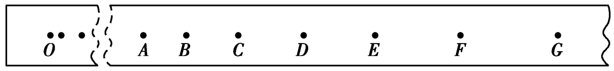
A.重物选用质量和密度较大的金属锤

B.两限位孔在同一竖直面内上下对正

C.精确测量出重物的质量

D.用手托稳重物,接通电源后,撒手释放重物

②某实验小组利用上述装置将打点计时器接到50 Hz的交流电源上,按正确操作得到了一条完整的纸带,由于纸带较长,图中有部分未画出,如图所示。纸带上各点是打点计时器打出的计时点,其中 O 点为纸带上打出的第一个点。重物下落高度应从纸带上计时点间的距离直接测出,利用下列测量值能完成验证机械能守恒定律的选项有______。



A.OA、AD 和 EG 的长度

B.OC、BC 和 CD 的长度

C.BD、CF 和 EG 的长度

D.AC、BD 和 EG 的长度

答案　①AB　②BC

解析　本题考查"验证机械能守恒定律"实验。

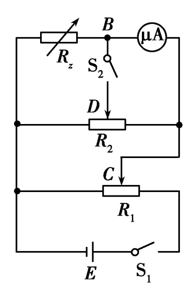
①选用质量大的金属锤,可保证下落过程中纸带竖直不松弛;金属锤密度大,体积就小,下落过程中所受阻力小;上下限位孔对正,可减小摩擦;本实验中要验证 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$,即验证 $v^2=2gh$,不用测量重物的质量;实验时用手抓紧纸带上端,接通电源,打点计时器工作稳定后,再松手释放纸带,不用用手托住重物。

②本实验中,需要测某点的瞬时速度和从起始点到该点的距离,或者两点的速度及其间距,符合要求的选项有B、C。

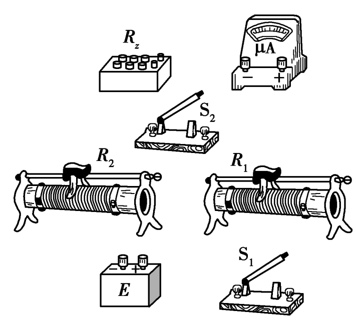
试题评析　如何减小实验误差和如何处理数据是实验题目的两大高频考点,考生在平时实验中,要充分思考这方面问题的处理办法,做到心中有数,在考试中就可游刃有余。

考点二　电学实验

1.(2017课标Ⅱ,23,9分)某同学利用如图(a)所示的电路测量一微安表(量程为100 μA,内阻大约为2 500 Ω)的内阻。可使用的器材有:两个滑动变阻器 R_1、R_2(其中一个阻值为20 Ω,另一个阻值为2 000 Ω);电阻箱 R_z(最大阻值为99 999.9 Ω);电源 E(电动势约为1.5 V);单刀开关 S_1 和 S_2。C、D 分别为两个滑动变阻器的滑片。



图(a)



图(b)

(1)按原理图(a)将图(b)中的实物连线。

(2)完成下列填空:

①R_1 的阻值为________Ω(填"20"或"2 000")。

②为了保护微安表,开始时将 R_1 的滑片 C 滑到接近图(a)中滑动变阻器的________端(填"左"或"右")对应的位置;将 R_2 的滑片 D 置于中间位置附近。

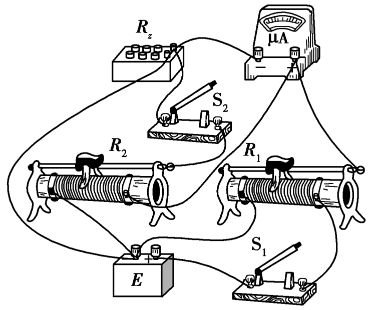
③将电阻箱 R_z 的阻值置于2 500.0 Ω,接通 S_1。将 R_1 的滑片置于适当位置,再反复调节 R_2 的滑片 D 的位置。最终使得接通 S_2 前后,微安表的示数保持不变,这说明 S_2 接通前 B 与 D 所在位置的电势________(填"相等"或"不相等")。

④将电阻箱 R_z 和微安表位置对调,其他条件保持不变,发现将 R_z 的阻值置于2 601.0 Ω时,在接通 S_2 前后,微安表的示数也保持不变。待测微安表的内阻为________Ω(结果保留到个位)。

(3)写出一条提高测量微安表内阻精度的建议:________________________________。

答案　(1)如图所示　(2)①20　②左　③相等　④2 550

(3)调节 R_1 上的分压,尽可能使微安表接近满量程



解析　本题考查实物图连线、电阻的测量、器材的选取，考查学生的实验能力。

(2)①R_1 为分压电阻，为了有效控制测量电路，故选20 Ω的小电阻；

②为了保护微安表，开始 R_1 的滑片 C 应滑到左端，使微安表示数为零；

③当 B 与 D 的电势相等时，$I_{DB}=0$，S_2 闭合前后电路的电阻不变，导致微安表的示数不变；

④设 R_2 中电流为 I_1，R_z 中电流为 I_2，当 $\varphi_B=\varphi_D$ 时

$U_{Rz1}=U_{R2左}$，$U_{Rg}=U_{R2右}$

即 $I_2\cdot R_{z1}=I_1R_{2左}$，$I_2R_g=I_1R_{2右}$

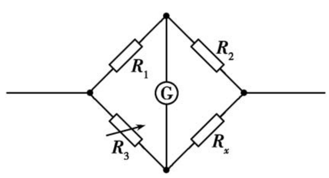
得$\dfrac{R_{z1}}{R_g}=\dfrac{R_{2左}}{R_{2右}}$

当 R_z 与微安表对调时，有$\dfrac{R_g}{R_{z2}}=\dfrac{R_{2左}}{R_{2右}}$

故有$\dfrac{R_{z1}}{R_g}=\dfrac{R_g}{R_{z2}}$

$R_g=\sqrt{R_{z1}\cdot R_{z2}}=\sqrt{2\ 500\times 2\ 601}\ \Omega=2\ 550\ \Omega$

解题关键　1.理解惠斯通电桥电路的原理。



当G的示数为零时，$\dfrac{R_1}{R_2}=\dfrac{R_3}{R_x}$。

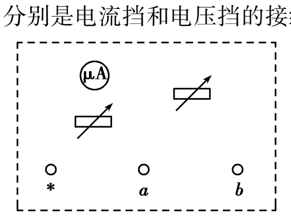
2.知道分压电路一定要选最大阻值较小的滑动变阻器。

2.（2018课标Ⅱ，22，6分）某同学组装一个多用电表。可选用的器材有：微安表头（量程100 μA，内阻900 Ω）；电阻箱 R_1（阻值范围0～999.9 Ω）；电阻箱 R_2（阻值范围0～99 999.9 Ω）；导线若干。

要求利用所给器材先组装一个量程为1 mA的直流电流表，在此基础上再将它改装成量程为3 V的直流电压表。组装好的多用电表有电流1 mA和电压3 V两挡。

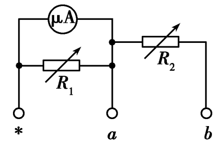
回答下列问题：

(1)在虚线框内画出电路图并标出 R_1 和 R_2，其中＊为公共接线柱，a 和 b 分别是电流挡和电压挡的接线柱。



(2)电阻箱的阻值应取 $R_1=$________Ω，$R_2=$________Ω。（保留到个位）

答案　(1)如图所示　(2)100　2 910



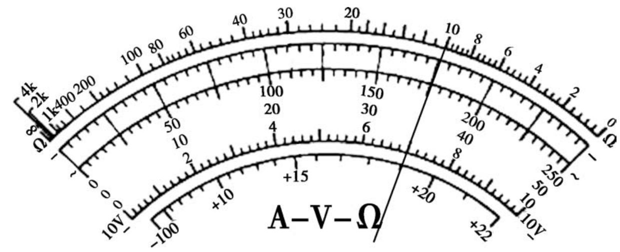
解析　本题考查电表的改装。

将量程为100 μA的微安表头改装成量程为1 mA的直流电流表，应并联一个分流电阻，分流电阻的阻值为$\dfrac{I_gR_g}{I-I_g}=100\ \Omega$，选用 R_1；再串联一分压电阻可改装成量程为3 V的电压表，分压电阻的阻值为$\dfrac{U-I_gR_g}{I}=\dfrac{3-900\times10^{-4}}{10^{-3}}\ \Omega=2\ 910\ \Omega$，选用 R_2。

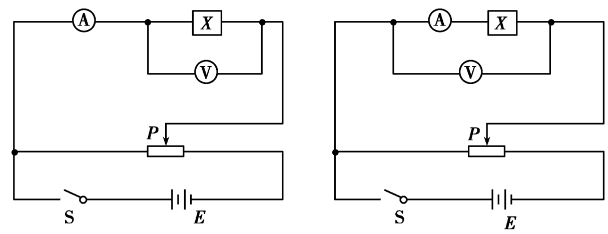
规律总结　电表改装的原理

应用并联分流的规律改装电流表；应用串联分压的规律改装电压表。

3.［2015广东理综，34(2)，10分］某实验小组研究两个未知元件 X 和 Y 的伏安特性，使用的器材包括电压表（内阻约为3 kΩ）、电流表（内阻约为1 Ω）、定值电阻等。



(a)



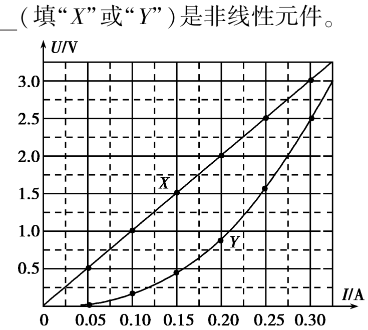
(b)　(c)

图1

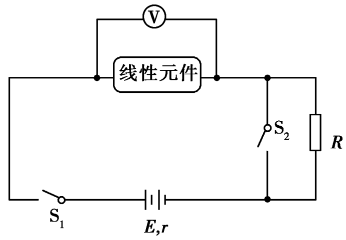
①使用多用电表粗测元件 X 的电阻。选择"×1"欧姆挡测量，示数如图1(a)所示，读数为________Ω。据此应选择图1中的________［填"(b)"或"(c)"］电路进行实验。

②连接所选电路，闭合S；滑动变阻器的滑片 P 从左向右滑动，电流表的示数逐渐________（填"增大"或"减小"）；依次记录电流及相应的电压；将元件 X 换成元件 Y，重复实验。

③图2(a)是根据实验数据作出的 U－I 图线，由图可判断元件________（填"X"或"Y"）是非线性元件。



(a)



(b)

图2

④该小组还借助 X 和 Y 中的线性元件和阻值 $R=21\ \Omega$ 的定值电阻,测量待测电池的电动势 E 和内阻 r,电路如图2(b)所示,闭合 S_1 和 S_2,电压表读数为 3.00 V;断开 S_2,读数为 1.00 V。利用图2(a)可算得 E=________V,r=________Ω(结果均保留两位有效数字,视电压表为理想电压表)。

答案 ①10.0 (b) ②增大 ③Y ④3.2 0.50

解析 ①测量值=读数×倍率,故测量结果为 10.0×1 Ω=10.0 Ω,因 $R_X=10.0\ \Omega<\sqrt{R_AR_V}\approx\sqrt{3\ 000}\ \Omega$,$R_X$ 属于小电阻,故测量电路应采用电流表外接法。

②滑片 P 向右滑动时测量电路两端的电压增大,故电流表的示数也增大。

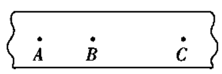
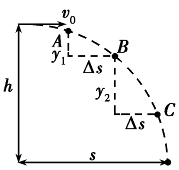
③非线性元件的 $U-I$ 图线是曲线。

④由图2(a)可知 $U_1=3.00$ V 时 $I_1=0.30$ A,$U_2=1.00$ V 时 $I_2=0.10$ A,根据闭合电路欧姆定律有 $E=3.00+0.30\times r$,$E=1.00+0.10\times(r+21)$,解得 $E=3.15\ \text{V}\approx3.2\ \text{V}$,$r=0.50\ \Omega$。

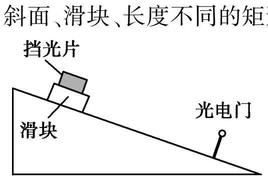
炼技法 提能力 方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧 对应学生用书起始页码 172

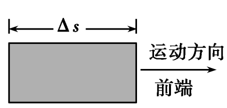
方法1 测速度的方法

	纸带法	平抛运动法	光电门法
原理	 ①如果物体做匀速直线运动,则 $v=\dfrac{s_{AC}}{2T}$ ②如果物体做匀变速直线运动,则:中间时刻速度等于这一段时间内的平均速度,即 $v_B=\bar{v}_{AC}=\dfrac{s_{AC}}{2T}$	 ①从抛出点开始,则 $v_0=\dfrac{s}{t}$,$h=\dfrac{1}{2}gt^2$ 所以 $v_0=\dfrac{s}{\sqrt{\dfrac{2h}{g}}}=s\cdot\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$ ②连续相等时间间隔 T 内依次通过 A、B 和 C 点,则 $v_0=\dfrac{\Delta s}{T}$;$y_2-y_1=gT^2$ 可测平抛初速度 v_0	在运动物体上安装一个宽度(s)很窄的挡光条,当挡光条随物体运动经过光电门时,计时器记录运动时间,则此时物体的速度 $v=\dfrac{s}{t}$
应用	探究动能定理 原理:$W=\dfrac{1}{2}mv_1^2-0$ $2W=\dfrac{1}{2}mv_2^2-0$ ⋮ 验证机械能守恒定律 原理:①$mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$ ②$mg\Delta h=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2$	碰撞中的动量守恒定律 原理:$m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'$ $m_1\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot ON$	碰撞中的动量守恒定律原理 $m_1\dfrac{s_1}{t_1}+m_2\dfrac{s_2}{t_2}=m_1\dfrac{s_1}{t_1'}+m_2\dfrac{s_2}{t_2'}$

例1 (2017课标Ⅱ,22,6分)某同学研究在固定斜面上运动物体的平均速度、瞬时速度和加速度之间的关系。使用的器材有:斜面、滑块、长度不同的矩形挡光片、光电计时器。



图(a)



图(b)

实验步骤如下:

①如图(a),将光电门固定在斜面下端附近;将一挡光片安装在滑块上,记下挡光片前端相对于斜面的位置,令滑块从斜面上方由静止开始下滑;

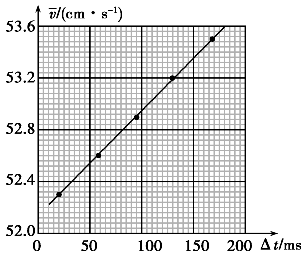
②当滑块上的挡光片经过光电门时,用光电计时器测得光线被挡光片遮住的时间 Δt;

③用 Δs 表示挡光片沿运动方向的长度[如图(b)所示],$\bar{v}$ 表示滑块在挡光片遮住光线的 Δt 时间内的平均速度大小,求出 $\bar{v}$;

④将另一挡光片换到滑块上,使滑块上的挡光片前端与①中位置相同,令滑块由静止开始下滑,重复步骤②、③;

⑤多次重复步骤④;

⑥利用实验中得到的数据作出 $\bar{v}-\Delta t$ 图,如图(c)所示。



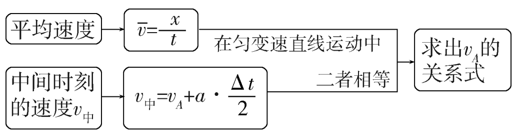
图(c)

完成下列填空：

(1)用 a 表示滑块下滑的加速度大小，用 v_A 表示挡光片前端到达光电门时滑块的瞬时速度大小，则 $\bar{v}$ 与 v_A、a 和 Δt 的关系式为 $\bar{v}$=________。

(2)由图(c)可求得，v_A=________cm/s，a=________cm/s²。(结果保留3位有效数字)

解题导引



解析　本题考查匀变速直线运动中平均速度、瞬时速度和加速度之间的关系。

挡光片通过光电门的平均速度 $\bar{v}$ 等于 Δt 时间段的中间时刻的速度

由 $v=v_0+at$ 可知 $\bar{v}=v_A+a\frac{\Delta t}{2}$

即 $\bar{v}=v_A+\frac{1}{2}a\cdot\Delta t$，由图像的截距可知 v_A=52.12 cm/s≈52.1 cm/s

其斜率 $k=\frac{1}{2}a$，故物体的加速度 $a=2k$=16.3 cm/s²

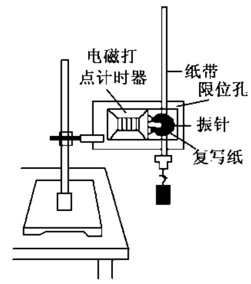
答案　(1)$v_A+\frac{a}{2}\Delta t$　(2)52.1　16.3

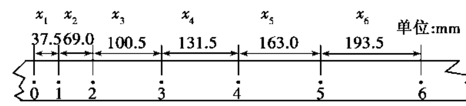
易错警示　在匀变速直线运动中，平均速度等于这段时间内中间时刻速度，而不是中间位置速度，也不是挡光片末端通过光电门时的速度，因此 $\bar{v}=v_A+a\frac{\Delta t}{2}$，而不是 $\bar{v}=v_A+a\Delta t$。

方法2　测加速度的方法

	纸带法	闪光拍照法	v-t 图像法
原理	物体以加速度 a 做匀变速直线运动，在任意相邻相等的时间间隔(T)内的位移之差为一定值		由 $v_n=\frac{s_n+s_{n+1}}{2T}$，计算出所选的各计数点对应的瞬时速度，作 v-t 图像
数据处理	①逐差法：已知连续相邻相等时间间隔(T)内的位移(如：s_1、s_2、s_3、s_4、s_5、s_6)，则$a=\frac{s_6+s_5+s_4-s_3-s_2-s_1}{(3T)^2}$ ②隔差法：已知任意两段相等时间(T)内位移为 s_n、s_m，则 $a=\frac{s_n-s_m}{(n-m)T^2}$		取 v-t 图像相距较远的两点算出斜率，即加速度

例2　某同学用图所示装置测量重力加速度 g，所用交流电频率为 50 Hz。在所选纸带上取某点为0号计数点，然后每3个点取一个计数点，所有测量数据及其标记符号如图所示。





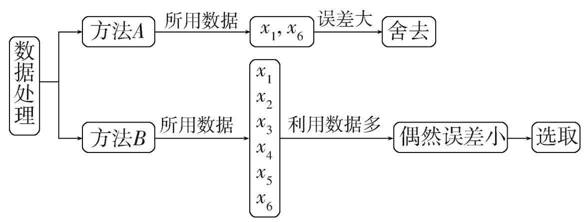
该同学用两种方法处理数据(T 为相邻两计数点间的时间间隔)：

方法A：由 $g_1=\frac{x_2-x_1}{T^2}$，$g_2=\frac{x_3-x_2}{T^2}$ … $g_5=\frac{x_6-x_5}{T^2}$，取平均值 $\bar{g}$=8.667 m/s²；

方法B：由 $g_1=\frac{x_4-x_1}{3T^2}$，$g_2=\frac{x_5-x_2}{3T^2}$，$g_3=\frac{x_6-x_3}{3T^2}$，取平均值 $\bar{g}$=8.673 m/s²。

从数据处理方法看，在 x_1、x_2、x_3、x_4、x_5、x_6 中，对实验结果起作用的，方法A中有______；方法B中有__________________。因此，选择方法________(A或B)更合理，这样可以减少实验的______(填"系统"或"偶然")误差。本实验误差的主要来源有______________________________(试举出两条)。

解题导引



解析　方法A的实质：

$$\bar{g}=\left(\frac{x_2-x_1}{T^2}+\frac{x_3-x_2}{T^2}+\cdots+\frac{x_6-x_5}{T^2}\right)/5=\frac{x_6-x_1}{5T^2}$$

方法B的实质：

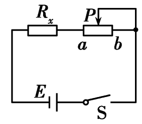
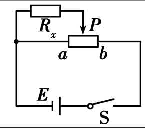
$$\bar{g}=\left(\frac{x_4-x_1}{3T^2}+\frac{x_5-x_2}{3T^2}+\frac{x_6-x_3}{3T^2}\right)/3=\frac{(x_4+x_5+x_6)-(x_1+x_2+x_3)}{9T^2}$$

故方法A中2个数据起作用，方法B中6个数据起作用。

答案　x_1、x_6 或 37.5 mm、193.5 mm　x_1、x_2、x_3、x_4、x_5、x_6 或 37.5 mm、69.0 mm、100.5 mm、131.5 mm、163.0 mm、193.5 mm　B　偶然　阻力(空气阻力、振动的阻力、限位孔的阻力、复写纸的阻力等)，交流电频率波动，长度测量，数据处理方法等

方法3　控制电路的选择方法

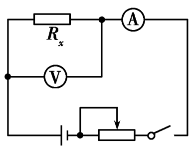
注：忽略电源的内阻、R 为滑动变阻器的最大值。

	限流式接法	分压式接法
电路图		
触头P始位置	b 端	a 端

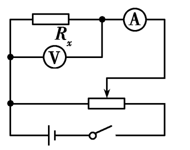
续表

	限流式接法	分压式接法
电压调节范围	$\frac{ER_x}{R_x+R} \leqslant U_x \leqslant E$	$0 \leqslant U_x \leqslant E$
电流调节范围	$\frac{E}{R+R_x} \leqslant I_x \leqslant \frac{E}{R_x}$	$0 \leqslant I_x \leqslant \frac{E}{R_x}$
优点	1.电路结构简单 2.耗能较低	1.待测电阻 R_x 两端电压或电流能从零开始调节 2.调节范围最大
缺点	1.待测电阻 R_x 两端电压不能从零开始调节 2.当待测电阻 R_x 比滑动变阻器总阻值 R 大很多时,调节范围很小	1.电路结构复杂 2.耗能较多
选择原则	1.该接法适合测量小阻值电阻(和滑动变阻器的总电阻相比),R_x 越小,限流式接法中滑动变阻器分得的电压越大,调节范围越大 2.电路结构简单,能耗低,优先采用	1.实验中要求待测电阻两端的电压从零开始调节 2.待测电阻的阻值 R_x 比滑动变阻器总电阻 R 大得多或限流式接法不能保障器材安全,应采用分压式接法

例 3 有一个电阻 R_x,其阻值大约是 10 Ω,请选择适当的器材,以便测量其阻值。可供选择的电路如图。可供选择的器材是:



甲



乙

A.电动势 4.5 V、内阻不计的电源 E

B.量程为 15 V、内阻 10 kΩ 的电压表 V_1

C.量程为 3 V、内阻 6 kΩ 的电压表 V_2

D.量程为 300 mA、内阻 4 Ω 的电流表 A_1

E.量程为 5 A、内阻 2 Ω 的电流表 A_2

F.最大阻值 20 Ω、额定电流 1.5 A 的滑动变阻器 R_1

G.最大阻值 500 Ω、额定电流 0.5 A 的滑动变阻器 R_2

H.开关和若干根导线。

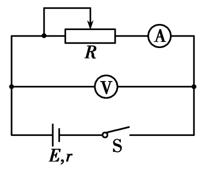
则选用的电路是______(填甲或乙),选用的器材是______(填序号)。

解析 R_x 的阻值大约为 10 Ω,与电流表内阻接近,因此用电流表外接法,同时 R_x 的大约值小于滑动变阻器的总阻值,因而采用限流式接法,故选用甲电路;电源电动势 $E=4.5$ V,$E=I_m(R_x+R_A)$,$I_m=\frac{4.5}{14}$ A $=0.321$ A $=321$ mA 或 $I_m=\frac{4.5}{12}$ A $=0.375$ A $=375$ mA,电流表选 D。$U=I_mR_x=0.321\times10$ V $=3.21$ V,因而电压表选 C,变阻器 R_1 最大值为 500 Ω,与 R_x 偏差太大,因此变阻器选 F。

答案 甲 A、C、D、F、H

方法 4 测电源电动势(E)和内阻(r)的常见方法

1.伏安法:其电路如图所示。



①测量原理:$E=U+I\cdot r$

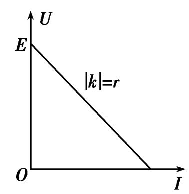
②数据处理:

Ⅰ.计算法:解方程组

$\begin{cases}E=U_1+I_1\cdot r\\E=U_2+I_2\cdot r\end{cases}$,解得 E、r。

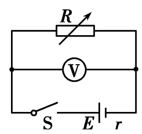
Ⅱ.图像法:将原理公式变形得

$U=-r\cdot I+E$,以路端电压 U 为纵轴,以干路电流 I 为横轴,作 U-I 图线,图线在纵轴(U)上的截距代表电源的电动势 E,斜率的绝对值代表电源的内阻 r。定标度时,纵轴可以不从零开始。



2.一表一箱法

(1)用电压表Ⓥ和电阻箱 R 来测量,如图所示。



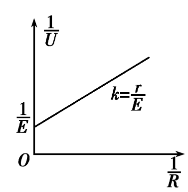
①测量原理:$E=U+\frac{U}{R}\cdot r$

②数据处理:

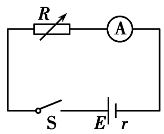
Ⅰ.计算法:解方程组

$\begin{cases}E=U_1+\frac{U_1}{R_1}\cdot r\\E=U_2+\frac{U_2}{R_2}\cdot r\end{cases}$,解出 E、r。

Ⅱ.图像法:将原理公式变形为:$\frac{1}{U}=\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}+\frac{1}{E}$,以路端电压的倒数($\frac{1}{U}$)为纵轴,以电阻箱接入电路中的阻值的倒数($\frac{1}{R}$)为横轴,作$\frac{1}{U}$-$\frac{1}{R}$图线。图线在纵轴($\frac{1}{U}$)上的截距代表电源电动势的倒数($\frac{1}{E}$),斜率代表电源内阻与电动势的比值($\frac{r}{E}$)。也可将原理公式变形为$\frac{1}{R}=\frac{E}{r}\cdot\frac{1}{U}-\frac{1}{r}$,作$\frac{1}{R}$-$\frac{1}{U}$图线。



(2)用电流表Ⓐ和电阻箱 R 来测量,如图所示。



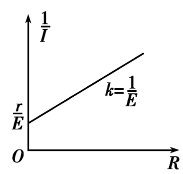
①测量原理:$E=IR+Ir$

②数据处理

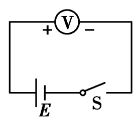
Ⅰ.计算法:解方程组

$\begin{cases}E=I_1\cdot R_1+I_1\cdot r\\E=I_2\cdot R_2+I_2\cdot r\end{cases}$,解出 E、r。

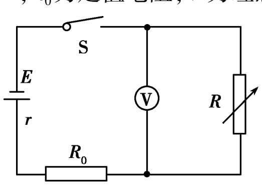
Ⅱ.图像法:将原理公式变形为$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}\cdot R+\frac{r}{E}$,以干路电流的倒数($\frac{1}{I}$)为纵轴,以电阻箱接入电路中的阻值($R$)为横轴,作出$\frac{1}{I}-R$ 图线,图线的斜率代表电动势的倒数($\frac{1}{E}$),图线在纵轴($\frac{1}{I}$)上的截距代表电源内阻与电动势的比值($\frac{r}{E}$)。也可以将原理公式变形为 $R=E\cdot\frac{1}{I}-r$,作 $R-\frac{1}{I}$图线。



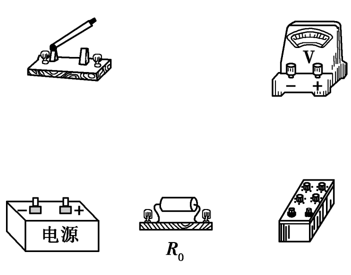
3.用一只电压表粗测电动势,直接将电压表接电源两端,所测得的数值近似认为是电源的电动势。如图所示,$\frac{U}{R_V}=\frac{E}{R_V+r}$,$U=\frac{ER_V}{R_V+r}$。当 $R_V\gg r$ 时,$U\approx E$。



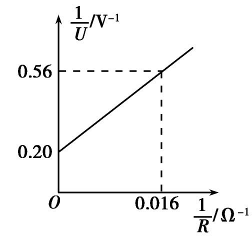
例 4　现有一电池,电动势 E 约为 5 V,内阻 r 约为 50 Ω,允许通过的最大电流为 50 mA。为测定该电池的电动势和内阻,某同学利用如图甲所示的电路进行实验。图中 R 为电阻箱,阻值范围为 0~999.9 Ω,R_0为定值电阻,V 为理想电压表。



甲



乙



丙

(1)可供选用的 R_0有以下几种规格,本实验应选用的 R_0的规格为________(填选项序号字母)。

A.15 Ω　1.0 W　　B.50 Ω　0.01 W

C.60 Ω　1.0 W　　D.1 500 Ω　6.0 W

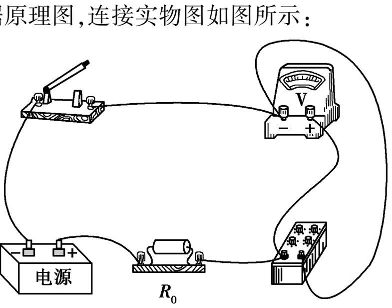
(2)按照图甲所示的电路图,将图乙所示的实物连接成实验电路。

(3)连接好电路,闭合开关 S,调节电阻箱的阻值,记录阻值 R 和相应的电压表示数 U,测得多组实验数据,并作出如图丙所示的$\frac{1}{U}-\frac{1}{R}$关系图像,则电动势 $E=$______V,内阻 $r=$______Ω。(结果均保留 2 位有效数字)

解析　本题考查了用电压表和可变电阻测电源电动势和内阻,体现了科学探究中证据要素。

(1)分析题意可知,电路中允许通过的最大电流为 50 mA,根据闭合电路欧姆定律可知,电路中的最小电阻 $R_{min}=\frac{E}{I_m}=$100 Ω,则定值电阻 R_0的最小阻值为 50 Ω,B 选项中额定功率太小,导致额定电流过小,D 选项中的电阻值过大,故 C 选项正确。

(2)根据原理图,连接实物图如图所示:



(3)根据闭合电路欧姆定律可知,

$U=\frac{R}{R+R_0+r}\cdot E$。

整理为$\frac{1}{U}=\frac{r+R_0}{E}\cdot\frac{1}{R}+\frac{1}{E}$。

图像的纵截距为$\frac{1}{E}=0.20\ V^{-1}$,解得,$E=5.0$ V。

图像的斜率为$\frac{r+R_0}{E}=22.5\ \Omega\cdot V^{-1}$,解得,$r\approx53$ Ω。

答案　(1)C　(2)见解析　(3)5.0　53

方法集训

对应学生用书起始页码 176

方法 1 测速度的方法

1.利用图 1 实验装置验证机械能守恒定律。实验操作步骤如下,请将步骤 B 补充完整:

A.按实验要求安装好实验装置;

B.使重物靠近打点计时器,接着先________,打点计时器在纸带上打下一系列的点;

C.图 2 为一条符合实验要求的纸带,O 点为打点计时器打下的第一个点。分别测出三个连续点 A、B、C 与 O 点之间的距离 h_1、h_2、h_3。已知打点计时器的打点周期为 T,重物质量为 m,重力加速度为 g,结合实验中所测得的 h_1、h_2、h_3,可求得纸带从 O 点下落到 B 点的过程中,重物增加的动能为________,减少的重力势能为________。

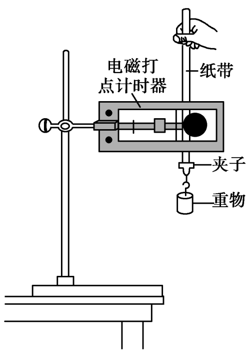


图1

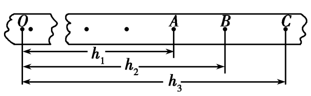


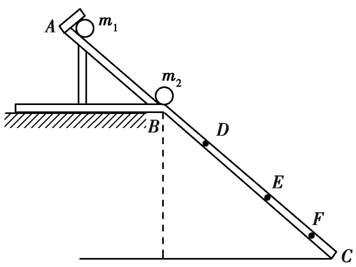
图2

答案 B.接通电源再释放纸带 C.$\frac{m(h_3-h_1)^2}{8T^2}$ mgh_2

解析 B.实验时应先接通电源,再释放纸带。

C.打 B 点时重物的瞬时速度 $v_B=\frac{h_3-h_1}{2T}$,则纸带从 O 点下落到 B 点的过程中,重物动能的增加量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{m(h_3-h_1)^2}{8T^2}$,重力势能的减少量 $\Delta E_p=mgh_2$。

2.(2018 江西萍乡摸底,13)在验证动量守恒定律的实验中,实验装置如图所示。



(1)按照以下步骤进行操作:

①用天平测出两个大小相同的小球的质量分别为 m_1 和 m_2,且 m_1________m_2(填"<"、">"或"=")。

②按照如图所示的示意图,安装好实验装置。将斜槽 AB 固定在桌边,使槽的末端点的________。将一斜面 BC 连接在斜槽末端。

③先不放小球 m_2,让小球 m_1 从斜槽顶端 A 处由静止开始滚下,记下小球在斜面上的落点位置。

④将小球 m_2 放在斜槽前端边缘处,让小球 m_1 从斜槽顶端 A 处由静止滚下,使它们发生碰撞,记下小球 m_1 和小球 m_2 在斜面上的落点位置。

⑤用毫米刻度尺量出各个落点位置到斜槽末端点 B 的距离。图中 D、E、F 点是该同学记下的小球在斜面上的几个落点位置,到 B 点的距离分别为 y_1、y_2、y_3。

(2)小球 m_1 与 m_2 发生碰撞后,m_1 的落点是图中的________点,m_2 的落点是图中的________点。

(3)要想验证动量守恒定律,以下物理量必须测量的有________。

A.小球 m_1 开始释放的高度 h

B.斜面的倾角 θ

C.两个小球的质量 m_1、m_2

D.B 点到 D、E、F 三点的距离分别为 y_1、y_2、y_3

(4)若(3)中所给选项的物理量均用测得的物理量来表示,只要满足关系式________,则说明球碰撞中动量是守恒的。只要再满足关系式________,则说明两小球的碰撞是弹性碰撞。

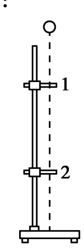
答案 (1)①>(1 分) ②切线水平(1 分)

(2)D(1 分) F(1 分) (3)CD(2 分)

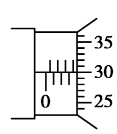
(4)$m_1\sqrt{y_2}=m_1\sqrt{y_1}+m_2\sqrt{y_3}$(2 分) $m_1y_2=m_1y_1+m_2y_3$(2 分)

解析 (1)①防止小球 m_1 碰撞后反向运动,要求 $m_1>m_2$;②为使小球做平抛运动应保证斜槽末端点切线水平。(2)(3)(4)两球碰撞后做平抛运动,设斜面倾角为 θ,则 $y\cos\theta=vt$,$y\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$,得 $v=\sqrt{\frac{gy\cos^2\theta}{2\sin\theta}}$,分析可知碰撞后 m_1 和 m_2 落点分别为图中 D、F 点,验证动量守恒定律的表达式为 $m_1v=m_1v_1+m_2v_2$,即为 $m_1\sqrt{y_2}=m_1\sqrt{y_1}+m_2\sqrt{y_3}$;能量守恒时,有 $\frac{1}{2}m_1v^2=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$,即为 $m_1y_2=m_1y_1+m_2y_3$,因此需要测量 a 球和 b 球的质量 m_1、m_2 以及 B 点到 D、E、F 三点的距离 y_1、y_2、y_3。

3.(2018 安徽皖南八校联考,13)某实验小组的同学利用落体法验证机械能守恒定律,实验装置如图甲所示,该小组的同学完成了如下的操作:



图甲



图乙

(1)首先利用螺旋测微器测出了小球的直径,其示数如图乙所示,则该小球的直径 $d=$________cm;

(2)将该小球由光电门 1 的正上方无初速度释放,测得小球先后通过光电门 1 和光电门 2 所用的时间为 Δt_1 和 Δt_2,则小球通过两光电门的速度分别为 $v_1=$________,$v_2=$________;(用所测量的物理量符号表示)

(3)该小组的同学测出了两光电门之间的距离为 H,重力加速度用 g 表示,若小球的机械能守恒,则需要验证的关系式为________。(结果用所测量的物理量符号表示)

答案 (1)0.380 0(2 分) (2)$\frac{d}{\Delta t_1}$ $\frac{d}{\Delta t_2}$(各 1 分)

(3)$2gH=\left(\frac{d}{\Delta t_2}\right)^2-\left(\frac{d}{\Delta t_1}\right)^2$(2 分)

解析 (1)螺旋测微器的固定刻度读数为 3.5 mm,可动刻度

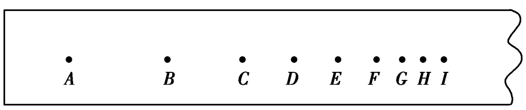
读数为 0.01×30.0 mm = 0.300 mm，则小球的直径 $d=3.800$ mm = 0.380 0 cm。

（2）根据极短时间内的平均速度等于瞬时速度知，小球通过两光电门的速度分别为：$v_1=\dfrac{d}{\Delta t_1}$，$v_2=\dfrac{d}{\Delta t_2}$。

（3）小球通过两光电门过程中重力势能的减少量为 $\Delta E_p=mgH$，动能的增加量为 $\Delta E_k=\dfrac{1}{2}m\left[\left(\dfrac{d}{\Delta t_2}\right)^2-\left(\dfrac{d}{\Delta t_1}\right)^2\right]$，则需验证的关系式为：$mgH=\dfrac{1}{2}m\left[\left(\dfrac{d}{\Delta t_2}\right)^2-\left(\dfrac{d}{\Delta t_1}\right)^2\right]$，即 $2gH=\left(\dfrac{d}{\Delta t_2}\right)^2-\left(\dfrac{d}{\Delta t_1}\right)^2$。

方法 2　测加速度的方法

1. 某物体牵引穿过打点计时器的纸带运动，计时器每隔 $T=0.02$ s打出一点，从如图所示纸带上已测得的连续 8 个时间间隔 T 内的位移大小分别为：$x_{AB}=5.62$ cm、$x_{BC}=5.23$ cm、$x_{CD}=4.85$ cm、$x_{DE}=4.47$ cm、$x_{EF}=4.08$ cm、$x_{FG}=3.70$ cm、$x_{GH}=3.31$ cm、$x_{HI}=2.92$ cm。



（1）这是不是匀变速运动？________，根据何在？____。

（2）若是匀变速直线运动，则物体的加速度 $a=$________m/s²（保留三位有效数字）。

答案　（1）是　连续两个 T 内位移差为常数　（2）−9.63

解析　（1）由题给数据可知

$x_{AB}-x_{BC}=0.39$ cm，$x_{BC}-x_{CD}=0.38$ cm，

$x_{CD}-x_{DE}=0.38$ cm，$x_{DE}-x_{EF}=0.39$ cm，

$x_{EF}-x_{FG}=0.38$ cm，$x_{FG}-x_{GH}=0.39$ cm，

$x_{GH}-x_{HI}=0.39$ cm

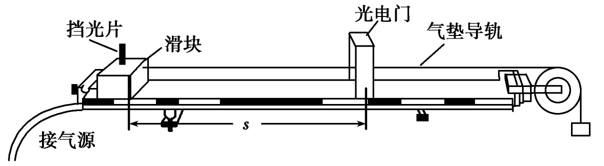
可以看出相邻相等时间内的位移之差几乎不变，所以物体做的是匀变速运动。

（2）根据匀变速直线运动的推论公式 $\Delta x=aT^2$，整理得 $a=\dfrac{x_{EF}+x_{FG}+x_{GH}+x_{HI}-x_{AB}-x_{BC}-x_{CD}-x_{DE}}{16T^2}=-9.63\ \text{m/s}^2$，负号表示加速度方向与速度方向相反。

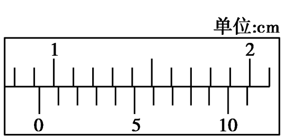
考查点　测定匀变速直线运动的加速度

温馨提示　要提高应用匀变速直线运动的规律以及推论解答实验问题的能力，在平时练习中要加强对基础知识的理解与应用。

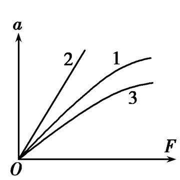
2. (2018 安徽 A10 联盟联考) 在“验证牛顿运动定律”的实验中，某物理兴趣小组利用如图甲所示的装置进行实验。



甲



乙



丙

（1）用 20 分度的游标卡尺测出挡光片的宽度如图乙所示，则宽度 $d=$______cm。

（2）接通气源，调节气垫导轨水平，让滑块从不同位置由静止释放，记录挡光片通过光电门的挡光时间 t，测出释放点到光电门的间距为 s，以 s 为纵轴，$\dfrac{1}{t^2}$为横轴作图，得到的图像是一条过原点的倾斜直线，且斜率为 k，则滑块的加速度 $a=$__________（用 d、k 表示）。

（3）若以测得的滑块加速度 a 为纵轴，所挂钩码的重力代替拉力 F，作出如图丙中图线 1。为了减小误差，该兴趣小组将一个力传感器安装在滑块上（传感器的质量可忽略不计），从力传感器中得出拉力 F，作出 $a-F$ 图像是图丙中的图线__________（填“2”或“3”）。

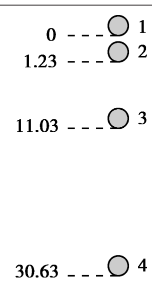
答案　（1）0.940　（2）$\dfrac{d^2}{2k}$　（3）2

解析　（1）游标卡尺读数为：0.9 cm+8×0.05 mm = 0.940 cm；

（2）滑块做匀加速直线运动，有 $2as=v^2$，又 $v=\dfrac{d}{t}$，可得 $s=\dfrac{d^2}{2at^2}$，已知斜率为 k，可得 $a=\dfrac{d^2}{2k}$；

（3）因钩码及滑块做加速运动，可知细线的拉力应比钩码的重力小，而用传感器测出的是滑块所受的实际的拉力，此时 $a-F$ 图像应为图线 2。

3. (2020 届内蒙古集宁一中摸底，12) 如图是某同学研究小球下落时的频闪照片，频闪仪每隔 0.1 s 闪光一次并进行拍照。照片中小球静止时在位置 1，某时刻释放小球，下落中的小球各位置与位置 1 的距离如图中所标的数据（单位：cm）。实验过程并没有错误，但该同学发现图中数据存在以下问题：根据 $h=\dfrac{1}{2}gt^2=\dfrac{1}{2}\times9.8\times0.1^2$ m = 4.90 cm，而图中标出的位置 1 和位置 2 的距离为 1.23 cm，比 4.90 cm 小很多，你对此问题的解释是____。



下落中小球在位置 3 的速度为________m/s，小球做自由落体运动的加速度为________m/s²。（计算结果保留 3 位有效数字）

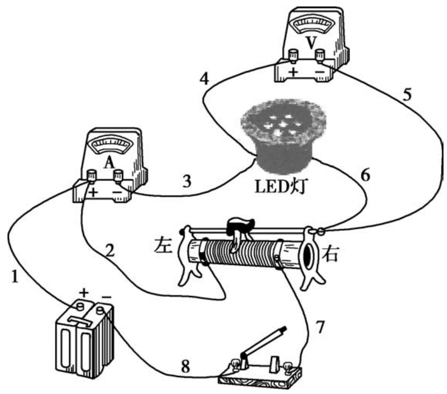
答案　小球在位置 2 时下落的时间小于 0.1 s　1.47　9.80

解析　本题考查了用逐差法求重力加速度，体现了科学思维中科学推理要素。

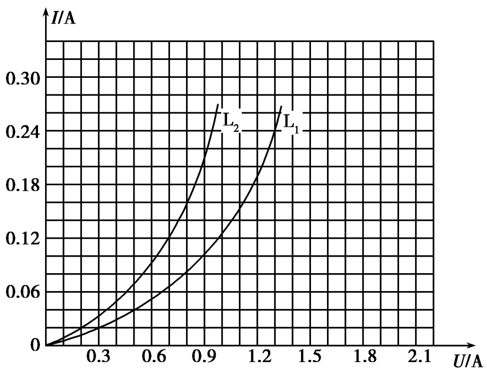
对此问题的解释是：小球下落到位置 2 时下落的时间小于 0.1 s。下落中小球在位置 3 的速度为 $v_3=\dfrac{h_{24}}{2T}=\dfrac{(30.63-1.23)\times10^{-2}}{2\times0.1}$ m/s = 1.47 m/s；小球做自由落体运动的加速度为 $g=\dfrac{\Delta h}{T^2}=\dfrac{[(30.63-11.03)-(11.03-1.23)]\times10^{-2}}{0.1^2}$ m/s² = 9.80 m/s²。

方法 3 控制电路的选择方法

1. 某同学通过实验研究 LED 灯的伏安特性曲线,可用的器材如下:电源、滑动变阻器、电流表、电压表、不同规格的 LED 灯两组、开关、导线。



甲



乙

(1)该同学将灯 L_1 连接成如图甲所示的实验电路。开关闭合前,滑动变阻器的滑片应置于________端(填"左"或"右")。各元件检查正常,闭合开关后,移动滑动变阻器滑片,发现电压表有示数,而电流表始终无示数,且灯 L_1 不亮。则一定断路的导线是________(填导线的标号)。

(2)更换导线后,移动滑动变阻器滑片,得到灯 L_1 的 $I-U$ 图像如图乙中的图线 L_1,则可知灯 L_1 的电阻随电压增大而________(填"变大""变小"或"不变")。

(3)换灯 L_2 重做实验,得到其 $I-U$ 图像如图乙中的图线 L_2。现将滑动变阻器的滑片移到合适位置固定,同时撤去导线 2,接灯 L_2 时电流表的读数为 0.16 A,接灯 L_1 时电流表的读数为 0.14 A,灯被短路时,电流表的读数就为________A(结果保留两位有效数字)。

答案 (1)左 6 (2)变小 (3)0.22

解析 (1)由图可知该电路为分压式电路,所以开关闭合前,滑动变阻器的滑片应置于左端,使开始时 LED 灯两端的电压最小。各元件检查正常,闭合开关后,移动滑动变阻器滑片,发现电压表有示数,说明电压表与电源之间的电路没有问题,而电流表始终无示数,且灯 L_1 不亮,则知 LED 灯的支路存在问题,所以一定断路的导线是 6。

(2)在 $I-U$ 图像中,各个点与坐标原点的连线的斜率表示电阻的倒数,由图可知,随电压增大,L_1 图线上各点与坐标原点的连线的斜率增大,所以可知 L_1 的阻值在减小;

(3)由图乙可以读出,接灯 L_2 时电流表的读数为 0.16 A,此时的电压为 $U_2=0.8$ V;接灯 L_1 时电流表的读数为 0.14 A,此时的电压为 $U_1=1.05$ V。

设电源的电动势为 E,电路中其他部分的电阻值为 R,由闭合电路的欧姆定律得:

$E=U_1+I_1R$

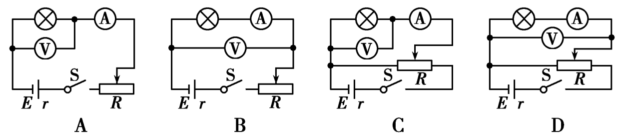
$E=U_2+I_2R$

联立得:$E=2.8$ V,$R=12.5$ Ω

所以当灯被短路时,电流表的读数:$I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{2.8}{12.5}$ A≈0.22 A

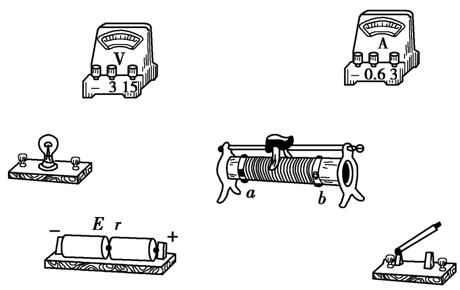
2. 研究一个小灯泡 L(2.8 V 1.8 W)的伏安特性,同时测定小灯泡在额定电压下的电阻,检验其标示的准确性。

(1)若实验中所用电流表内阻为几欧,电压表内阻为几千欧,选出下列电路图中既能满足实验要求,又能减小误差的实验电路图:________。(选填"A""B""C"或"D")

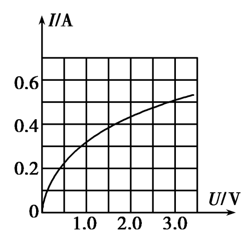


(2)请按(1)中所选电路图连接好图甲所示的实物图。

(3)闭合开关前,滑动变阻器的滑片应放在________端。(选填"a"或"b")



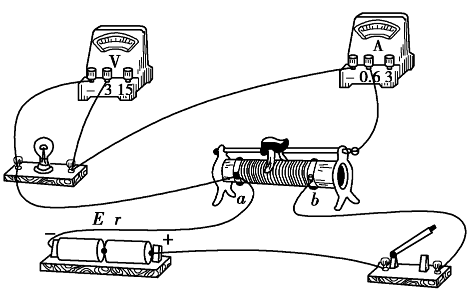
图甲



图乙

(4)根据实验得到的数据作出小灯泡的 $I-U$ 图像,如图乙所示,则小灯泡在额定电压下工作时的电阻 $R_L=$________Ω。(保留两位有效数字)

答案 (1)C (2)如图所示 (3)a (4)5.6



解析 (1)小灯泡正常发光时的阻值约为 $\dfrac{2.8^2}{1.8}$ Ω=4.36 Ω,由于电流表内阻和小灯泡阻值接近,而电压表内阻远大于小灯泡的阻值,故应采用电流表外接法,滑动变阻器采用分压式接法,故既能满足实验要求,又能减小误差的实验电路图是选项 C 所示电路图;

（2）实物图连接见答案；

（3）为了测量电路的安全，闭合开关前，滑动变阻器的滑片应放在 a 端；

（4）由题图乙中图线可知小灯泡在额定电压下工作时的电流值为 0.5 A，则小灯泡在额定电压下工作时的电阻 $R_L=\frac{2.8}{0.5}\ \Omega=5.6\ \Omega$。

3.（2018 宁夏银川 4 月质检，10）现有一电流表 A_1，最大电流值 $I_{A_1}=300$ mA，内阻 r_1 约为 5 Ω，要把它改装成较大量程的电流表。首先要测量其内阻的准确值。实验室备有以下器材：

电流表 A_2：最大电流值 $I_{A_2}=600$ mA，内阻约为 $r_2=1$ Ω；

电压表 V：量程 0~15 V，内阻约为 3 Ω；

定值电阻：$R_0=5$ Ω；

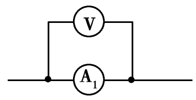
滑动变阻器 R_1：最大电阻值 10 Ω，额定电流为 1 A

滑动变阻器 R_2：最大电阻值 250 Ω，额定电流为 0.3 A

电源 E：电动势为 3 V，内阻较小

开关和导线若干。

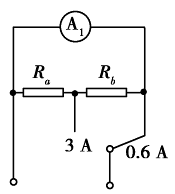
（1）有同学根据提供的器材，设想把电压表直接和电流表并联测量电流表 A_1 的内阻，如图甲所示，仔细分析后发现是不可行的，其原因是________________。



甲

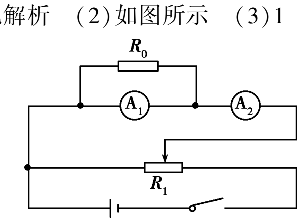
（2）请你选择合适的器材，设计一个测量电流表 A_1 内阻的电路原理图，要求电流表 A_1 的示数从零开始变化，且能多测几组数据，尽可能减少误差。

（3）若测得电流表 A_1 的内阻 $r_1=5.0$ Ω，就可以将 A_2 改装成 0~0.6 A 和 0~3 A 两个量程的电流表。如图乙所示，则电阻 R_a = ______ Ω，R_b = ______ Ω。



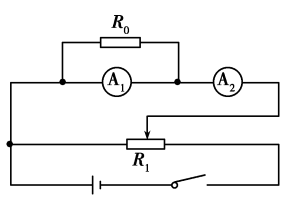
乙

答案　（1）见解析　（2）如图所示　（3）1　4



解析　（1）电压表的量程为 0~15 V，而电流表满偏时两端电压只有 1.5 V，显然测量误差较大，不能达到测量准确值的目的。

（2）测量电流表的内阻的关键是测量电流表两端的电压，定值电阻 R_0 的阻值为 5 Ω，定值电阻 R_0 和电流表 A_1 并联可以间接计算出电流表 A_1 两端的电压；题目中明确要求"电流表 A_1 的示数从零开始变化"，所以采用滑动变阻器的分压接法，如图所示。



（3）当将电流表 A_2 改装成量程 0~0.6 A 的电流表时，有 $I_1=\frac{I_{A_1}r_1}{R_a+R_b}+I_{A_1}$，当将电流表 A_2 改装成量程 0~3 A 的电流表时，有 $I_2=\frac{I_{A_1}(r_1+R_b)}{R_a}+I_{A_1}$，代入数据可得 $R_a=1$ Ω，$R_b=4$ Ω。

考查点　电表改装

温馨提示　①控制电路分压接法的优点，测量范围大。

②"分压法"滑动变阻器阻值选择较小的。

方法 4　测电源电动势（E）和内阻（r）的常见方法

1.（2018 安徽 A10 联盟联考）某实验小组成员要测量一节干电池的电动势和内阻，已知该干电池的电动势约为 1.5 V，内阻约为 0.50 Ω；实验室提供了电压表 V（量程为 0~3 V，内阻约 3 kΩ）、电流表 A（量程 0~0.6 A，内阻为 0.70 Ω）、滑动变阻器 R（10 Ω，2 A）、开关和导线若干。

（1）为了尽可能减小实验误差，请在图 1 方框中画出实验电路图。

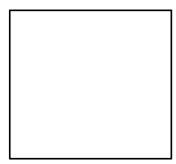


图1

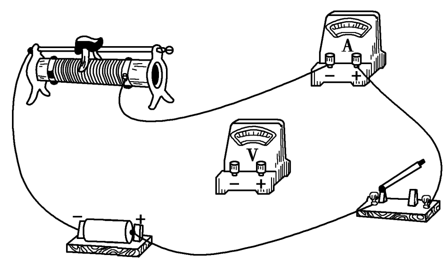


图2

（2）在图 2 中按设计的电路图完善实物图的连接。

（3）通过多次测量并记录对应的电流表示数 I 和电压表示数 U，利用这些数据在图 3 中画出了 $U-I$ 图线。由图线可以得出此干电池的电动势 E=________V（保留 3 位有效数字），内阻 r=______Ω（保留 2 位有效数字）。

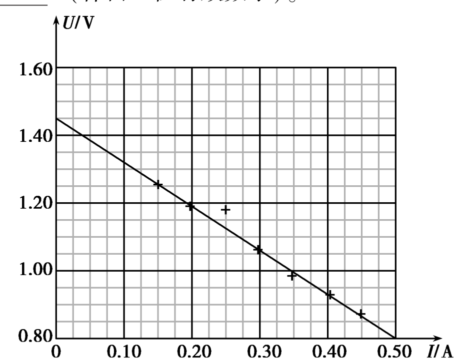


图 3

（4）实验过程中，发现电流表发生了故障，于是小组成员又找来一个电压表和一个定值电阻，组成了如图 4 所示的电路，移动滑动变阻器触头，读出电压表 V_1 和 V_2 的多组数据 U_1、U_2，描绘出 U_1-U_2 图像如图 5 所示，图线斜率为 k，与横轴的截距为 a，则电源的电动势 E=________，内阻 r=________。（用 k、a、R_0 表示）

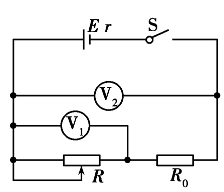


图4

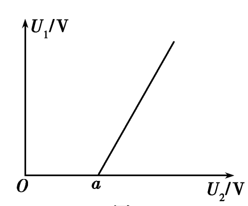
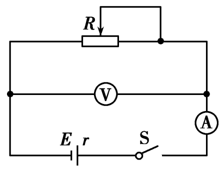


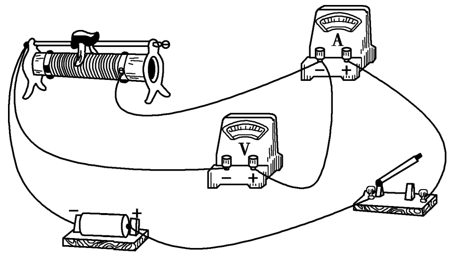
图5

答案　（1）见解析　（2）见解析　（3）1.45（1.44~1.46 之间均可）　0.60（0.58~0.62 之间均可）　（4）$\frac{ka}{k-1}$　$\frac{R_0}{k-1}$

解析 (1)由于电流表内阻已知,则应采用电流表相对电源的内接法,电路图如图所示。



(2)对照电路图,实物图完善后如图所示。



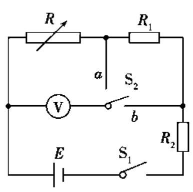
(3)根据 $U=E-I(r+R_A)$ 以及图像可知,电源的电动势为 $E=1.45\ \text{V}$,$r+R_A=\frac{\Delta U}{\Delta I}=\frac{1.45-0.80}{0.50}\ \Omega=1.30\ \Omega$,故 $r=1.30\ \Omega-0.70\ \Omega=0.60\ \Omega$;

(4)由闭合电路欧姆定律可知:$E=U_2+\frac{U_2-U_1}{R_0}r$,变形得:$U_1=U_2\frac{(r+R_0)}{r}-\frac{R_0E}{r}$,

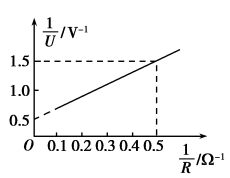
当 $U_1=0$ 时,$U_2=a$,则有:$\frac{R_0E}{r}=a\frac{(r+R_0)}{r}$,又 $\frac{r+R_0}{r}=k$。

解得:$E=\frac{ka}{k-1}$,$r=\frac{R_0}{k-1}$。

2.(2019百校联盟TOP20三月联考Ⅱ卷,10)某同学设计了如图甲所示的电路来测量电源电动势 E 及电阻 R_1 和 R_2 的阻值。实验器材有:待测电源 E(不计内阻),待测电阻 R_1,待测电阻 R_2,电压表 V(量程为 0~3 V,内阻很大),电阻箱 R(0~99.99 Ω),单刀单掷开关 S_1,单刀双掷开关 S_2,导线若干。



甲



乙

(1)先测电阻 R_1 的阻值,请将该同学的操作补充完整:

A.闭合 S_1,将 S_2 切换到 a,调节电阻箱,读出其示数 R_0 和对应的电压表示数 U_1;

B.保持电阻箱示数不变,________,读出电压表的示数 U_2;

C.则电阻 R_1 的表达式为 $R_1=$________。

(2)该同学已经测得电阻 $R_1=3.2\ \Omega$,继续测电源电动势 E 和电阻 R_2 的阻值,其做法是:闭合 S_1,将 S_2 切换到 a,多次调节电阻箱,读出多组电阻箱示数 R 和对应的电压表示数 U,由测得的数据,绘出了如图乙所示的 $\frac{1}{U}-\frac{1}{R}$ 图线,则电源电动势 $E=$________V,电阻 $R_2=$________Ω。

答案 (1)将 S_2 切换到 b $\frac{U_2-U_1}{U_1}R_0$

(2)2 0.8

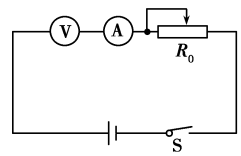
解析 (1)由题知,为了得到 R_1 两端的电压,应将 S_2 切换到 b,由欧姆定律有 $U_2=I(R_0+R_1)$,$U_1=IR_0$,联立解得 $R_1=\frac{U_2-U_1}{U_1}R_0$。

(2)根据 $E=U+\frac{U}{R}(R_1+R_2)$,变形得 $\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{1}{R}\cdot\frac{R_1+R_2}{E}$,对比图像有 $\frac{1}{E}=0.5\ \text{V}^{-1}$,得 $E=2\ \text{V}$;$\frac{R_1+R_2}{E}=\frac{1.5-0.5}{0.5}\ \Omega/\text{V}=2.0\ \Omega/\text{V}$,已知 $R_1=3.2\ \Omega$,则 $R_2=0.8\ \Omega$。

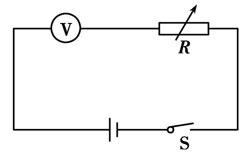
考查点 测电源电动势及定值电阻

温馨提示 利用闭合电路欧姆定律推出 $\frac{1}{U}-\frac{1}{R}$ 函数关系式。

3.(2019江西盟校一联,23)某实验小组用如下器材来测量电压表的内阻。



甲



乙

A.待测电压表(量程 0~3 V,内阻为几千欧)

B.电流表(量程 0~0.6 A,内阻约 0.1 Ω)

C.电池组(电动势约 3 V,内阻可忽略)

D.滑动变阻器 R_0

E.电阻箱 R(0~9 999 Ω)

F.开关和导线若干

(1)图甲是某同学设计的电路,大家讨论后一致认为此电路不可行,你认为原因是________;

A.R_0 阻值较小

B.电流表存在内阻

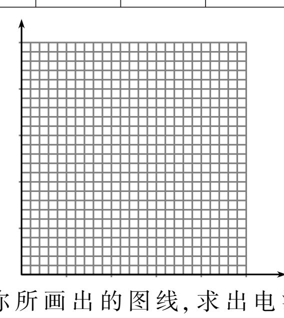
C.电压表无法准确读数

D.电流表无法准确读数

(2)同学们改用图乙电路进行测量,设电阻箱的阻值为 R,电压表的示数为 U,为了根据图像能求得电压表的内阻,应该作________图线(选填"$\frac{1}{U}-R$""$U-R$""$U-\frac{1}{R}$");

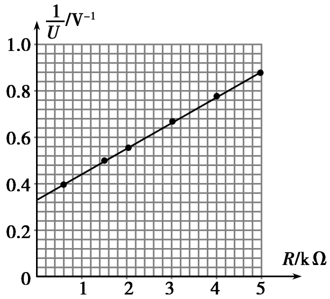
(3)请根据你选择的坐标轴对应的物理量和表的数据,在坐标图中标上合适的标度并作出相应图线;

R/kΩ	0.6	1.5	2	3	4	5
U/V	2.5	2	1.8	1.5	1.3	1.13
$\frac{1}{R}$/kΩ^{-1}	1.67	0.67	0.5	0.33	0.25	0.20
$\frac{1}{U}$/V^{-1}	0.40	0.50	0.56	0.67	0.78	0.88



(4)根据你所画出的图线,求出电源的电动势 $E=$________V,电压表内阻 $R_V=$________kΩ(保留两位有效数字)。

答案 (1)D (2)$\frac{1}{U}$-R (3)如图所示



(4)3.0(2.8~3.2) 3.0(2.8~3.5)

解析 (1)电流表与电压表串联时,电压表内阻特别大,电路中电流很小,D正确。

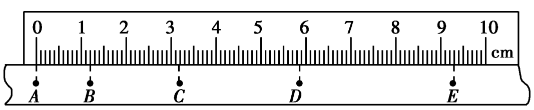
(2)根据闭合电路欧姆定律可知 $E=U+\frac{U}{R_V}R$,整理得 $\frac{1}{U}=\frac{1}{ER_V}R+\frac{1}{E}$,故应该作 $\frac{1}{U}$-R 图线。

(4)由(2)可知,图线斜率 $k=\frac{1}{ER_V}$,纵截距 $b=\frac{1}{E}$,读图可得 $k=\frac{0.88-0.40}{5-0.6}\ \text{V}^{-1}\cdot\text{k}\Omega^{-1}\approx0.11\ \text{V}^{-1}\cdot\text{k}\Omega^{-1}$,$b=0.33\ \text{V}^{-1}$,则电源电动势 $E=\frac{1}{b}\approx3.0\ \text{V}$,电压表内阻 $R_V=\frac{1}{Ek}\approx3.0\ \text{k}\Omega$。

2015-2019 5年高考 对应学生用书起始页码 272

A组 基础题组

1.(2019课标Ⅰ,22,5分)某小组利用打点计时器对物块沿倾斜的长木板加速下滑时的运动进行探究。物块拖动纸带下滑,打出的纸带一部分如图所示。已知打点计时器所用交流电的频率为50 Hz,纸带上标出的每两个相邻点之间还有4个打出的点未画出。在A、B、C、D、E五个点中,打点计时器最先打出的是________点。在打出C点时物块的速度大小为________m/s(保留3位有效数字);物块下滑的加速度大小为________m/s^2(保留2位有效数字)。



答案 A 0.233 0.75

解析 本题考查利用打点计时器探究匀变速直线运动的速度和加速度的关系,以及考生处理实验数据的能力,体现了以科学态度进行科学探究的核心素养。

物块沿倾斜的木板加速下滑时,纸带上打出的点逐渐变疏,故A点为先打出的点。

$$v_C=\frac{x_{BD}}{2T}=\frac{(5.86-1.20)\times10^{-2}}{2\times0.1}\ \text{m/s}=0.233\ \text{m/s}$$

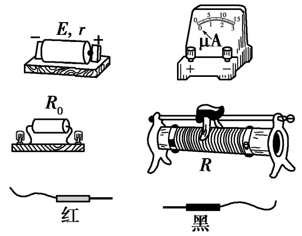
$$a=\frac{x_{CE}-x_{AC}}{(2T)^2}=\frac{(9.30-3.16-3.16)\times10^{-2}}{(2\times0.1)^2}\ \text{m/s}^2\approx0.75\ \text{m/s}^2$$

易错警示 本题相邻两计数点之间还有4个打出的点未画出,故 $T=5\times0.02\ \text{s}=0.1\ \text{s}$,不可用 $T=0.02\ \text{s}$ 计算。

2.(2019课标Ⅲ,23,10分)某同学欲将内阻为98.5 Ω、量程为100 μA的电流表改装成欧姆表并进行刻度和校准,要求改装后欧姆表的15 kΩ刻度正好对应电流表表盘的50 μA刻度,可选用的器材还有:定值电阻 R_0(阻值14 kΩ),滑动变阻器 R_1(最大阻值1 500 Ω),滑动变阻器 R_2(最大阻值500 Ω),电阻箱(0~99 999.9 Ω),干电池($E=1.5$ V,$r=1.5$ Ω),红、黑表笔和导线若干。

(1)欧姆表设计

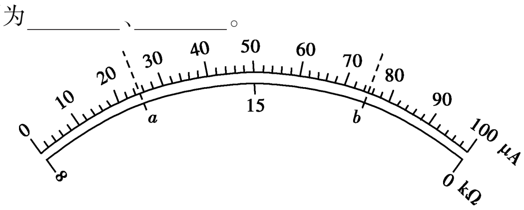
将图(a)中的实物连线组成欧姆表。欧姆表改装好后,滑动变阻器R接入电路的电阻应为________Ω;滑动变阻器选________(填“R_1”或“R_2”)。



图(a)

(2)刻度欧姆表表盘

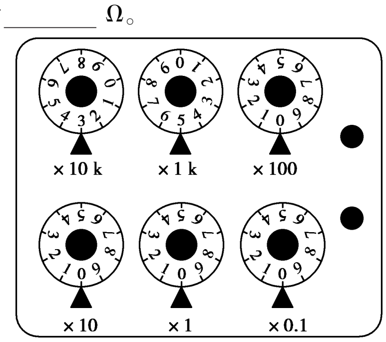
通过计算,对整个表盘进行电阻刻度,如图(b)所示。表盘上a、b处的电流刻度分别为25和75,则a、b处的电阻刻度分别为________、________。



图(b)

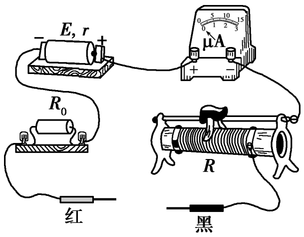
(3)校准

红、黑表笔短接,调节滑动变阻器,使欧姆表指针指向________kΩ处;将红、黑表笔与电阻箱连接,记录多组电阻箱接入电路的电阻值及欧姆表上对应的测量值,完成校准数据测量。若校准某刻度时,电阻箱旋钮位置如图(c)所示,则电阻箱接入的阻值为________Ω。



图(c)

答案 (1)连线如图 900 R_1



(2)45 5 (3)0 35 000.0

解析 本题考查了欧姆表的改装及电阻箱的读数,考查了学生的实验能力,体现了科学思维中的科学推理素养要素,渗透了实践的价值观念。

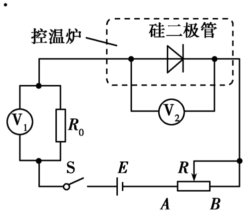
(1)由题意知改装的欧姆表的中值电阻即内阻为 15 kΩ,即 $R_0+r_g+r+R=15\ \text{k}\Omega$,故 $R=15\ \text{k}\Omega-14\ \text{k}\Omega-98.5\ \Omega-1.5\ \Omega=900\ \Omega$。由于滑动变阻器接入电路中的阻值大于 R_2 的最大阻值,故只能选用 R_1。

(2)由闭合电路的欧姆定律有:

$1.5\ \text{V}=25\ \mu\text{A}\times(R_a+15\ \text{k}\Omega)$,$1.5\ \text{V}=75\ \mu\text{A}\times(R_b+15\ \text{k}\Omega)$,解得 $R_a=45\ \text{k}\Omega$,$R_b=5\ \text{k}\Omega$。

(3)红、黑表笔短接,进行欧姆调零。由图得电阻箱的读数为 $3\times10\ \text{k}\Omega+5\times1\ \text{k}\Omega+0\times100\ \Omega+0\times10\ \Omega+0\times1\ \Omega+0\times0.1\ \Omega=35\ 000.0\ \Omega$。

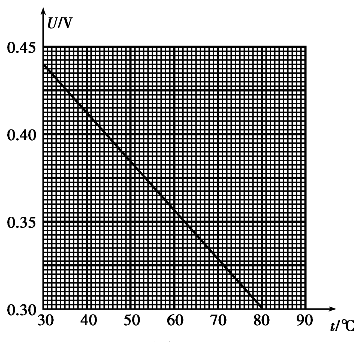
3.(2019课标Ⅱ,23,10分)某小组利用图(a)所示的电路,研究硅二极管在恒定电流条件下的正向电压 U 与温度 t 的关系,图中Ⓥ$_1$和Ⓥ$_2$为理想电压表;R 为滑动变阻器,R_0 为定值电阻(阻值 100 Ω);S 为开关,E 为电源。实验中二极管置于控温炉内,控温炉内的温度 t 由温度计(图中未画出)测出。图(b)是该小组在恒定电流为 50.0 μA 时得到的某硅二极管 $U-t$ 关系曲线。回答下列问题:



图(a)

(1)实验中,为保证流过二极管的电流为 50.0 μA,应调节滑动变阻器 R,使电压表Ⓥ$_1$的示数为 U_1=________mV;根据图(b)可知,当控温炉内的温度 t 升高时,硅二极管正向电阻________(填"变大"或"变小"),电压表Ⓥ$_1$示数________(填"增大"或"减小"),此时应将 R 的滑片向________(填"A"或"B")端移动,以使Ⓥ$_1$示数仍为 U_1。

(2)由图(b)可以看出 U 与 t 成线性关系。硅二极管可以作为测温传感器,该硅二极管的测温灵敏度为 $\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta t}\right|$=________$\times10^{-3}$ V/℃(保留2位有效数字)。



图(b)

答案 (1)5.00 变小 增大 B (2)2.8

解析 本实验考查运用闭合电路欧姆定律计算电压,并且分析了硅二极管两端的电压与温度的关系,考查学生的实验能力,体现了科学探究核心素养,又体现了创新思维和创新意识的价值观念。

(1)实验中 $I=50.0\ \mu\text{A}$,$R_0=100\ \Omega$,所以 $U_1=IR_0=5.00\ \text{mV}$,因为图(b)是在恒定电流条件下得到的图像,斜率为负值,所以随温度的升高,硅二极管正向电压变小,由 $R_{硅}=\dfrac{U}{I}$,可知硅二极管正向电阻变小,则回路中电流变大,且 R_0 为定值电阻,Ⓥ$_1$的示数增大。为了确保回路中电流恒定,应使滑动变阻器的阻值变大,故滑片应向 B 端滑动。(2)图(b)中图线纵轴截距为 0.44 V,所以 $\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta t}\right|=\left|\dfrac{0.44-0.30}{80-30}\right|\ \text{V/℃}=2.8\times10^{-3}\ \text{V/℃}$。

审题指导 运用闭合电路欧姆定律讨论电路中的动态变化,注意在图像中横、纵坐标均不是从0开始的。

4.(2019北京理综,21,18分)用如图1所示装置研究平抛运动。将白纸和复写纸对齐重叠并固定在竖直的硬板上,钢球沿斜槽轨道 PQ 滑下后从 Q 点飞出,落在水平挡板 MN 上,由于挡板靠近硬板一侧较低,钢球落在挡板上时,钢球侧面会在白纸上挤压出一个痕迹点。移动挡板,重新释放钢球。如此重复,白纸上将留下一系列痕迹点。

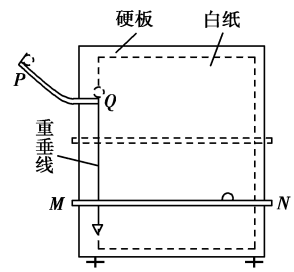


图1

(1)下列实验条件必须满足的有________。

A.斜槽轨道光滑

B.斜槽轨道末段水平

C.挡板高度等间距变化

D.每次从斜槽上相同的位置无初速度释放钢球

(2)为定量研究,建立以水平方向为 x 轴、竖直方向为 y 轴的坐标系。

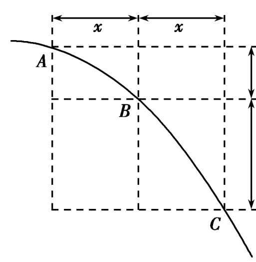


图2

a.取平抛运动的起始点为坐标原点,将钢球静置于 Q 点,钢球的________(选填"最上端"、"最下端"或者"球心")对应白纸上的位置即为原点;在确定 y 轴时________(选填"需要"或者"不需要")y 轴与重垂线平行。

b.若遗漏记录平抛轨迹的起始点,也可按下述方法处理数据:如图2所示,在轨迹上取 A、B、C 三点,AB 和 BC 的水平间距相等且均为 x,测得 AB 和 BC 的竖直间距分别是 y_1 和 y_2,则 $\dfrac{y_1}{y_2}$________$\dfrac{1}{3}$(选填"大于"、"等于"或者"小于")。可求得钢球平抛的初速度大小为________(已知当地重力加速度为

g,结果用上述字母表示)。

(3)为了得到平抛物体的运动轨迹,同学们还提出了以下三种方案。其中可行的是________。

A.从细管水平喷出稳定的细水柱,拍摄照片,即可得到平抛运动轨迹

B.用频闪照相在同一底片上记录平抛小球在不同时刻的位置,平滑连接各位置,即可得到平抛运动轨迹

C.将铅笔垂直于竖直的白纸板放置,笔尖紧靠白纸板,铅笔以一定初速度水平抛出,将会在白纸上留下笔尖的平抛运动轨迹

(4)伽利略曾研究过平抛运动,他推断:从同一炮台水平发射的炮弹,如果不受空气阻力,不论它们能射多远,在空中飞行的时间都一样。这实际上揭示了平抛物体________。

A.在水平方向上做匀速直线运动

B.在竖直方向上做自由落体运动

C.在下落过程中机械能守恒

(5)牛顿设想,把物体从高山上水平抛出,速度一次比一次大,落地点就一次比一次远。如果速度足够大,物体就不再落回地面,它将绕地球运动,成为人造地球卫星。

同样是受地球引力,随着抛出速度增大,物体会从做平抛运动逐渐变为做圆周运动,请分析原因。

答案 (1)BD (2)a.球心 需要 b.大于 $x\sqrt{\dfrac{g}{y_2-y_1}}$
(3)AB (4)B (5)见解析

解析 本题考查研究平抛运动实验,突出考查了实验分析及探究能力,体现了科学探究、科学推理的素养要素。

(1)研究平抛运动实验,必须满足的条件是钢球以相同的初速度沿水平方向抛出,则无论斜槽是否光滑,只要每次从同一位置无初速度释放钢球,且斜槽轨道末端水平,钢球抛出的初速度就相同且沿水平方向,A项错误,B、D项正确;实验只需用平滑曲线表示轨迹,挡板高度无须等间距变化,故C项错误。

(2)a.因为每次压点痕迹位于水平正对球心的位置,故静置于Q点的钢球球心对应的白纸上的位置为原点。坐标系以水平方向为x轴,竖直方向为y轴,故需要y轴与重垂线平行。

b.在竖直方向上,若初速度为零,则满足$\dfrac{y_1}{y_2}=\dfrac{1}{3}$,当竖直方向初速度大于零时,则满足$\dfrac{y_1}{y_2}>\dfrac{1}{3}$;根据$y_2-y_1=gt^2$得$t=\sqrt{\dfrac{y_2-y_1}{g}}$,而$v_0=\dfrac{x}{t}$,得$v_0=x\sqrt{\dfrac{g}{y_2-y_1}}$。

(3)水由细管管口水平喷出后,可以看成水做平抛运动,故此法可得到平抛运动轨迹,A项正确;平抛小球频闪照片取圆心点做的记录点与实验中的痕迹点一致,故B项正确;铅笔做平抛运动时,因为没有水平压力作用,笔尖不会在白纸上留下平抛运动轨迹,故C项错误。

(4)因为平抛运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀加速直线运动,由运动的独立性原理可知平抛物体的飞行时间$t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$由下落高度决定,所以伽利略的推断揭示了平抛物体在竖直方向上做自由落体运动,故B项正确,A、C项错误。

(5)物体初速度较小时,运动范围很小,引力可以看做恒力——重力,物体做平抛运动;随着物体初速度增大,运动范围变大,引力不能再看做恒力;当物体初速度达到第一宇宙速度时,它就围绕地球做圆周运动而成为地球卫星。

试题分析 题目梯度明显,层次清晰,突出了学科特点,体现了学科思想。

5.(2019江苏单科,11,10分)某同学测量一段长度已知的电阻丝的电阻率。实验操作如下:

(1)螺旋测微器如题图1所示。在测量电阻丝直径时,先将电阻丝轻轻地夹在测砧与测微螺杆之间,再旋动________(选填“A”“B”或“C”),直到听见“喀喀”的声音,以保证压力适当,同时防止螺旋测微器的损坏。

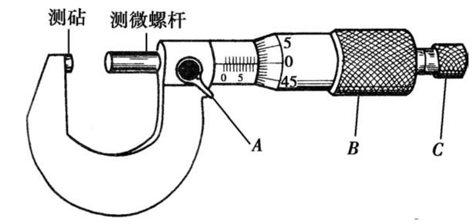


图1

(2)选择电阻丝的________(选填“同一”或“不同”)位置进行多次测量,取其平均值作为电阻丝的直径。

(3)图2甲图中R_x为待测电阻丝。请用笔画线代替导线,将滑动变阻器接入图2乙图实物电路中的正确位置。

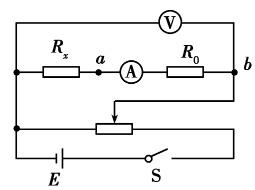


图2甲图

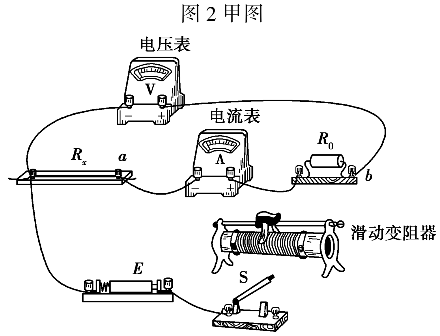


图2乙图

(4)为测量R_x,利用图2甲图所示的电路,调节滑动变阻器测得5组电压U_1和电流I_1的值,作出的U_1-I_1关系图像如图3所示。接着,将电压表改接在a、b两端,测得5组电压U_2和电流I_2的值,数据见下表:

U_2/V	0.50	1.02	1.54	2.05	2.55
I_2/mA	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0

请根据表中的数据,在方格纸上作出U_2-I_2图像。

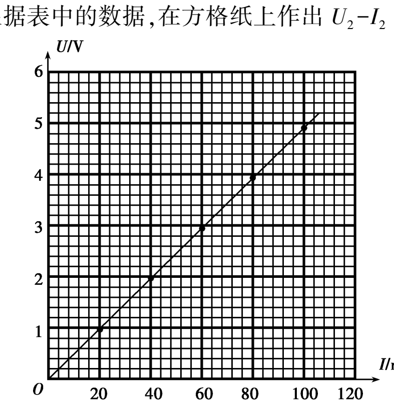


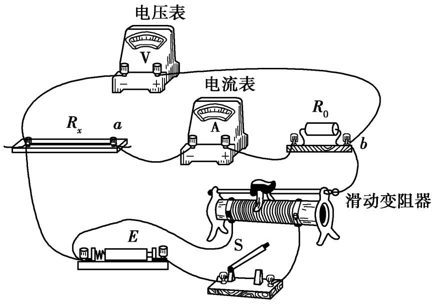
图3

(5)由此,可求得电阻丝的R_x=________Ω。根据电阻定

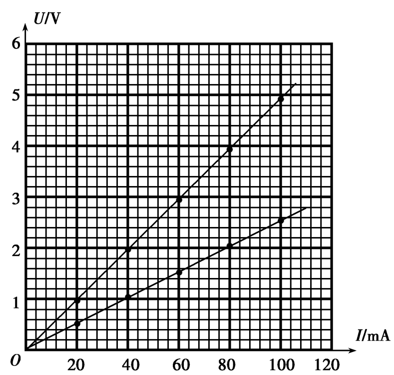
律可得到电阻丝的电阻率。

答案 (1)C (2)不同 (3)见图甲 (4)见图乙

(5)23.5(23.0~24.0都算对)



图甲



图乙

解析 本题通过测电阻丝电阻率的实验考查了基本仪器的使用、电路实物图连接及数据的处理等问题,考查了学生的实验操作、处理等能力,体现了科学探究中问题、证据、解释、交流等素养要素,渗透了创新的价值观念。

(1)为防止测砧与测微螺杆对电阻丝产生的压力过大,应该旋动微调旋钮C。

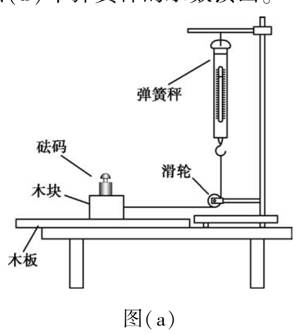
(2)为防止电阻丝的粗细不均匀造成对其直径测量的误差,要求在电阻丝上不同位置测量后取其平均值。

(3)实物图连接见答案。

(4)将表格中数据先在方格纸上描点,再用平滑的直线连接,图见答案。

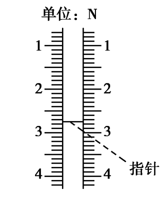
(5)在题图甲电路中 $U_1=I_1(R_x+R_A+R_0)$,当电压表改接在a、b两端时 $U_2=I_2(R_A+R_0)$,可见 U_1-I_1 图线的斜率 $k_1=R_x+R_A+R_0$,U_2-I_2 图线的斜率 $k_2=R_A+R_0$,故由两图线的斜率可得被测电阻的阻值 $R_x=k_1-k_2\approx23.5\ \Omega$。

6.(2018课标Ⅱ,23,9分)某同学用图(a)所示的装置测量木块与木板之间的动摩擦因数。跨过光滑定滑轮的细线两端分别与木块和弹簧秤相连,滑轮和木块间的细线保持水平,在木块上方放置砝码。缓慢向左拉动水平放置的木板,当木块和砝码相对桌面静止且木板仍在继续滑动时,弹簧秤的示数即木块受到的滑动摩擦力的大小。某次实验所得数据在下表中给出,其中f_4的值可从图(b)中弹簧秤的示数读出。

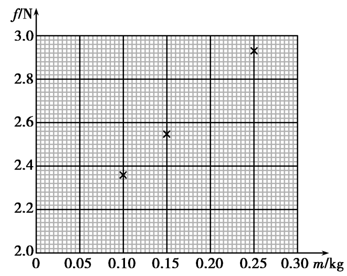


图(a)

砝码的质量m/kg	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
滑动摩擦力f/N	2.15	2.36	2.55	f_4	2.93



图(b)



图(c)

回答下列问题:

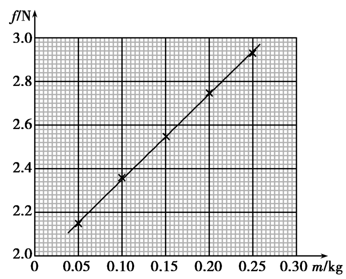
(1)f_4=________N;

(2)在图(c)的坐标纸上补齐未画出的数据点并绘出$f-m$图线;

(3)f与m、木块质量M、木板与木块之间的动摩擦因数μ及重力加速度大小g之间的关系式为f=________,$f-m$图线(直线)的斜率的表达式为k=________;

(4)取$g=9.80\ m/s^2$,由绘出的$f-m$图线求得μ=______。(保留2位有效数字)

答案 (1)2.75 (2)如图所示



(3)$\mu(M+m)g$ μg (4)0.40

解析 本题考查物体的平衡、滑动摩擦力的计算及分析图像的能力。

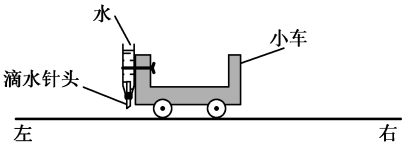
(1)由图可知弹簧秤的读数为2.75 N。

(2)画图线时应使尽可能多的点落在线上,不在线上的点应均匀分布在线的两侧。

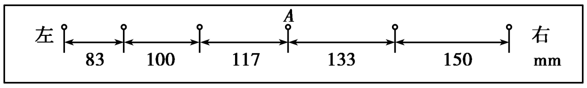
(3)以木块和砝码为研究对象,整体水平方向受木板的滑动摩擦力和细线的拉力,$f=\mu(M+m)g$,整理得$f=\mu mg+\mu Mg$,故$f-m$图线的斜率$k=\mu g$。

(4)由图知$k=3.9$ N/kg,故$\mu=\dfrac{k}{g}=0.40$。

7.(2017课标Ⅰ,22,5分)某探究小组为了研究小车在桌面上的直线运动,用自制“滴水计时器”计量时间。实验前,将该计时器固定在小车旁,如图(a)所示。实验时,保持桌面水平,用手轻推一下小车。在小车运动过程中,滴水计时器等时间间隔地滴下小水滴,图(b)记录了桌面上连续的6个水滴的位置。(已知滴水计时器每30 s内共滴下46个小水滴)



图(a)



图(b)

(1)由图(b)可知,小车在桌面上是________(填"从右向左"或"从左向右")运动的。

(2)该小组同学根据图(b)的数据判断出小车做匀变速运动。小车运动到图(b)中 A 点位置时的速度大小为______m/s,加速度大小为______m/s^2。(结果均保留 2 位有效数字)

答案　(1)从右向左

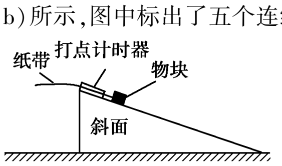
(2)0.19　0.037

解析　本题考查研究匀变速直线运动。(1)由于小车获得速度后在摩擦力作用下减速运动,故相邻水滴间的距离逐渐减小,结合图(b)可知小车向左运动。(2)由题意知,30 s 内滴下 46 滴水,共 45 个时间间隔,故相邻两滴水的时间间隔 $T=\frac{30}{45}$ s $=\frac{2}{3}$ s。由匀变速直线运动中平均速度等于中间时刻的瞬时速度可得 $v_A=\frac{117+133}{2\times\frac{2}{3}}$ mm/s $=0.19$ m/s。由逐差法得小车运动的加速度为 $a=\frac{(150+133)-(117+100)}{\left(2\times\frac{2}{3}\right)^2}$ mm/s^2 $=0.037$ m/s^2。

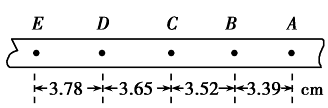
方法技巧　"纸带"的处理

处理"纸带"时,对于匀变速直线运动,求某点的瞬时速度需利用 $v_{\frac{t}{2}}=\bar{v}$,求加速度时应利用 $\Delta x=aT^2$。当需要考虑减小偶然误差时,应采用逐差法求加速度。

8.(2015 课标Ⅱ,22,6 分)某同学用图(a)所示的实验装置测量物块与斜面之间的动摩擦因数。已知打点计时器所用电源的频率为 50 Hz,物块下滑过程中所得到的纸带的一部分如图(b)所示,图中标出了五个连续点之间的距离。



图(a)



图(b)

(1)物块下滑时的加速度 $a=$______m/s^2,打 C 点时物块的速度 $v=$______m/s;

(2)已知重力加速度大小为 g,为求出动摩擦因数,还必须测量的物理量是______(填正确答案标号)。

A.物块的质量

B.斜面的高度

C.斜面的倾角

答案　(1)3.25(2 分)　1.79(2 分)　(2)C(2 分)

解析　(1)$a=\frac{s_{CE}-s_{AC}}{(2T)^2}=3.25$ m/s^2

$v_C=\frac{s_{BD}}{2T}=1.79$ m/s

(2)因为 $a=(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)/m$

$=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$

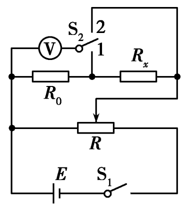
所以 $\mu=\frac{g\sin\theta-a}{g\cos\theta}$

欲求出 μ 还需知道斜面倾角,故选 C 项。

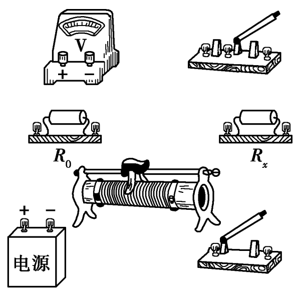
思路点拨　①利用 $\Delta s=aT^2$ 求加速度,利用 $v_{\frac{t}{2}}=\bar{v}=\frac{s}{t}$ 求解打 C 点时物块的速度。②对物块受力分析,在沿斜面方向由牛顿第二定律列式分析动摩擦因数。

9.(2018 课标Ⅲ,23,9 分)一课外实验小组用如图所示的电路测量某待测电阻 R_x 的阻值,图中 R_0 为标准定值电阻($R_0=20.0\ \Omega$);Ⓥ可视为理想电压表;S_1 为单刀开关,S_2 为单刀双掷开关;E 为电源;R 为滑动变阻器。采用如下步骤完成实验:

(1)按照实验原理线路图(a),将图(b)中实物连线;



图(a)



图(b)

(2)将滑动变阻器滑动端置于适当的位置,闭合 S_1;

(3)将开关 S_2 掷于 1 端,改变滑动变阻器滑动端的位置,记下此时电压表Ⓥ的示数 U_1;然后将 S_2 掷于 2 端,记下此时电压表Ⓥ的示数 U_2;

(4)待测电阻阻值的表达式 $R_x=$________(用 R_0、U_1、U_2 表示);

(5)重复步骤(3),得到如下数据:

	1	2	3	4	5
U_1/V	0.25	0.30	0.36	0.40	0.44
U_2/V	0.86	1.03	1.22	1.36	1.49
$\frac{U_2}{U_1}$	3.44	3.43	3.39	3.40	3.39

(6)利用上述 5 次测量所得 $\frac{U_2}{U_1}$ 的平均值,求得 $R_x=$________Ω。(保留 1 位小数)

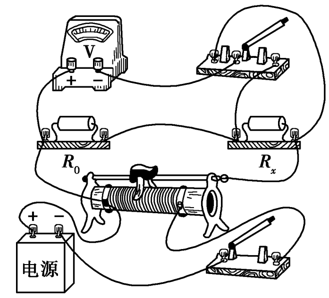
答案　(1)图见解析

(4)$\left(\frac{U_2}{U_1}-1\right)R_0$

(6)48.2

解析　本题考查测量电阻的实验。

(1)实物连线如图所示:



(4)将开关 S_2 掷于1端,可测得流经 R_0 的电流为$\frac{U_1}{R_0}$;将开关 S_2 掷于2端,可测得流经 R_0 和 R_x 的电流为$\frac{U_2}{R_0+R_x}$。由于Ⓥ可视为理想电压表,对电路没有影响,则两种情况下,电流相等,即$\frac{U_1}{R_0}=\frac{U_2}{R_0+R_x}$,解得:$R_x=\left(\frac{U_2}{U_1}-1\right)R_0$。

(6)根据所给数据,计算$\frac{U_2}{U_1}$的平均值为3.41,则 $R_x=(3.41-1)\times20.0\ \Omega=48.2\ \Omega$。

审题指导 本题属于计算型实验题,结合题设条件,利用欧姆定律列方程求解;本题中还有一点也应注意,Ⓥ可视为理想电压表,其对电路无影响。

10.(2016课标Ⅱ,23,9分) 某同学利用图(a)所示电路测量量程为2.5 V的电压表Ⓥ的内阻(内阻为数千欧姆),可供选择的器材有:电阻箱 R(最大阻值99 999.9 Ω),滑动变阻器 R_1(最大阻值50 Ω),滑动变阻器 R_2(最大阻值5 kΩ),直流电源 E(电动势3 V),开关1个,导线若干。

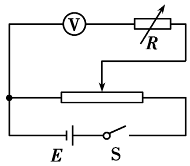
实验步骤如下:

①按电路原理图(a)连接线路;

②将电阻箱阻值调节为0,将滑动变阻器的滑片移到与图(a)中最左端所对应的位置,闭合开关S;

③调节滑动变阻器,使电压表满偏;

④保持滑动变阻器滑片的位置不变,调节电阻箱阻值,使电压表的示数为2.00 V,记下电阻箱的阻值。

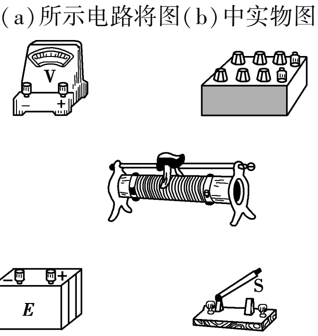


图(a)

回答下列问题:

(1)实验中应选择滑动变阻器______(填"R_1"或"R_2")。

(2)根据图(a)所示电路将图(b)中实物图连线。



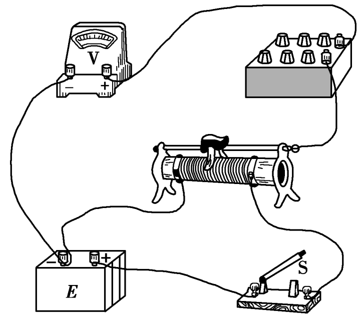
图(b)

(3)实验步骤④中记录的电阻箱阻值为630.0 Ω,若认为调节电阻箱时滑动变阻器上的分压不变,计算可得电压表的内阻为______Ω(结果保留到个位)。

(4)如果此电压表是由一个表头和电阻串联构成的,可推断该表头的满刻度电流为______(填正确答案标号)。

A.100 μA　B.250 μA　C.500 μA　D.1 mA

答案 (1)R_1 (2)如图所示 (3)2 520 (4)D



解析 (1)在保证电路安全的前提下,分压式电路中的滑动变阻器应选用总阻值小的。

(2)见答案图。

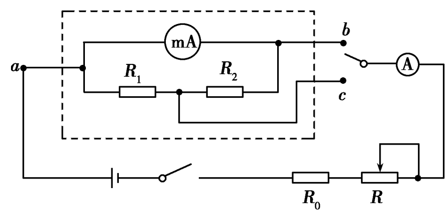
(3)电压表示数为2.00 V,说明电阻箱分压为0.5 V,可知 $R_V=4R=4\times630.0\ \Omega=2\ 520\ \Omega$。

(4)$I_{满}=\frac{U_{满}}{R_V}=\frac{2.5\ V}{2\ 520\ \Omega}\approx1\ mA$。

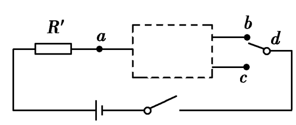
疑难突破 (1)电压表满偏电压为2.5 V,步骤④中电压表示数为2.00 V,说明电阻箱仅分压0.5 V。(2)电压表的满刻度电流与表头一致,故 $I_{满}=\frac{U_{满}}{R_V}$。

评析 半偏法测量电表内阻是高考常考题型,但本题中并没有使电压表真正半偏,而是使示数变为满偏的五分之四,考生需要灵活运用半偏法的基本原理,体会到其中电阻箱阻值仅为电压表内阻的四分之一,该题目有一定难度。

11.(2015课标Ⅰ,23,9分) 图(a)为某同学改装和校准毫安表的电路图,其中虚线框内是毫安表的改装电路。



图(a)



图(b)

(1)已知毫安表表头的内阻为100 Ω,满偏电流为1 mA;R_1 和 R_2 为阻值固定的电阻。若使用 a 和 b 两个接线柱,电表量程为3 mA;若使用 a 和 c 两个接线柱,电表量程为10 mA。由题给条件和数据,可以求出 R_1 =______Ω,R_2 =______Ω。

(2)现用一量程为3 mA、内阻为150 Ω的标准电流表Ⓐ对改装电表的3 mA挡进行校准,校准时需选取的刻度为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mA。电池的电动势为1.5 V,内阻忽略不计;定值电阻 R_0 有两种规格,阻值分别为300 Ω和1 000 Ω;滑动变阻器 R 有两种规格,最大阻值分别为750 Ω和3 000 Ω。则 R_0 应选用阻值为________Ω的电阻,R 应选用最大阻值为________Ω的滑动变阻器。

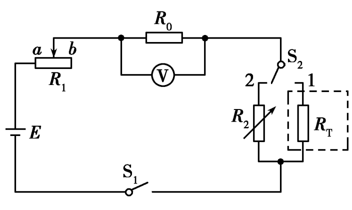
(3)若电阻 R_1 和 R_2 中有一个因损坏而阻值变为无穷大,利用图(b)的电路可以判断出损坏的电阻。图(b)中的 R'为保护电阻,虚线框内未画出的电路即为图(a)虚线框内的电路。则图中的 d 点应和接线柱________(填“b”或“c”)相连。判断依据是:________________________________。

答案　(1)15　35(4 分,每空 2 分)　(2)300　3 000(2 分,每空 1 分)　(3)c(1 分)　闭合开关时,若电表指针偏转,则损坏的电阻是 R_1;若电表指针不动,则损坏的电阻是 R_2(2 分)

解析　(1)由并联电路各支路两端电压相等有:使用 a 和 b 两个接线柱时 $1\ mA\times100\ \Omega=(3-1)mA\times(R_1+R_2)$;使用 a 和 c 两个接线柱时 $1\ mA\times(100\ \Omega+R_2)=(10-1)mA\times R_1$,联立可得 $R_1=15\ \Omega$,$R_2=35\ \Omega$。(2)由题意知校准时电路中电流的范围为 $0.5\ mA\leqslant I\leqslant3.0\ mA$,则由闭合电路欧姆定律知电路中总电阻 $R_{总}=\frac{E}{I}$满足 $500\ \Omega\leqslant R_{总}\leqslant3\ 000\ \Omega$,而两电表的总电阻 $R_A=150\ \Omega+\frac{1\ mA\times100\ \Omega}{3\ mA}=183\ \Omega$,故 R_0+R 应满足 $317\ \Omega\leqslant R_0+R\leqslant2\ 817\ \Omega$,可知 R_0 只能选用300 Ω的,R 只能选用3 000 Ω的。(3)在图(b)电路中,当 d 接 c 时,若 R_1 损坏则毫安表仍接入电路而有示数,若 R_2 损坏则毫安表不接入电路而无示数,故可由毫安表有无示数来判断损坏的电阻;当 d 接 b 时,无论 R_1 还是 R_2 损坏,对毫安表示数的影响相同,从而不能进行判定。

评析　试题以电表的改装与校准为依托,综合考查了电表改装、电表校准、多量程电表、器材选择、故障分析等,知识面覆盖较广,试题难度中等。

12.(2018 课标Ⅰ,23,10 分)某实验小组利用如图(a)所示的电路探究在 25 ℃~80 ℃范围内某热敏电阻的温度特性。所用器材有:置于温控室(图中虚线区域)中的热敏电阻 R_T,其标称值(25 ℃时的阻值)为 900.0 Ω;电源 E(6 V,内阻可忽略);电压表Ⓥ(量程 150 mV);定值电阻 R_0(阻值20.0 Ω),滑动变阻器 R_1(最大阻值为 1 000 Ω);电阻箱 R_2(阻值范围 0~999.9 Ω);单刀开关 S_1,单刀双掷开关 S_2。



图(a)

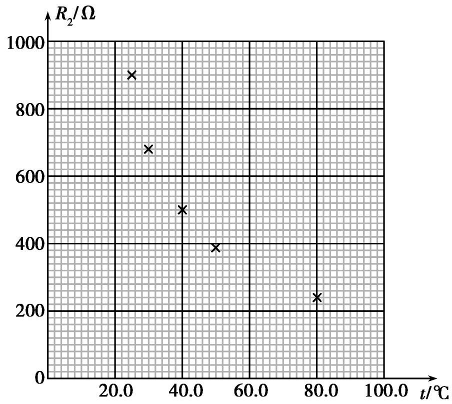
实验时,先按图(a)连接好电路,再将温控室的温度 t 升至 80.0 ℃。将 S_2 与 1 端接通,闭合 S_1,调节 R_1 的滑片位置,使电压表读数为某一值 U_0;保持 R_1 的滑片位置不变,将 R_2 置于最大值,将 S_2 与 2 端接通,调节 R_2,使电压表读数仍为 U_0;断开 S_1,记下此时 R_2 的读数。逐步降低温控室的温度 t,得到相应温度下 R_2 的阻值,直至温度降到 25.0 ℃。实验得到的 R_2-t 数据见下表。

t/℃	25.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0
R_2/Ω	900.0	680.0	500.0	390.0	320.0	270.0	240.0

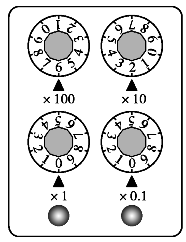
回答下列问题:

(1)在闭合 S_1 前,图(a)中 R_1 的滑片应移动到________(填“a”或“b”)端;

(2)在图(b)的坐标纸上补齐数据表中所给数据点,并做出 R_2-t 曲线;



图(b)

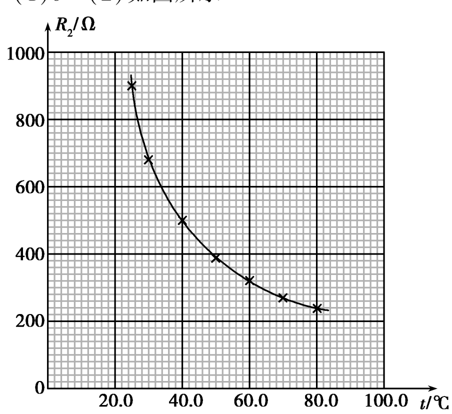


图(c)

(3)由图(b)可得到 R_T 在 25 ℃~80 ℃范围内的温度特性。当 t=44.0 ℃时,可得 R_T=________Ω;

(4)将 R_T 握于手心,手心温度下 R_2 的相应读数如图(c)所示,该读数为________Ω,则手心温度为________℃。

答案　(1)b　(2)如图所示



(3)450　(4)620.0　33.0

解析　本题考查替代法测电阻、绘图能力及电阻箱的读数等。

(1)滑动变阻器是限流式接法,S_1 闭合前,滑片应置于使滑动变阻器连入电路的阻值最大的位置,即 b 端。

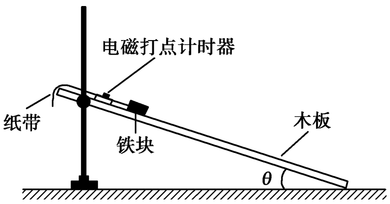
(2)由题给数据描完点后,观察这些点的分布规律,应画一条平滑曲线,让尽可能多的点落在线上,不在线上的点要均匀分布在线的两侧。

(3)由 R_2-t 图线知,当 t=44.0 ℃时,R_T=450 Ω。

(4)电阻箱的读数为$(6\times100+2\times10+0\times1+0\times0.1)\ \Omega=620.0\ \Omega$,由 R_2-t 图像知,当 R_2=620.0 Ω 时,t=33.0 ℃。

B组 提升题组

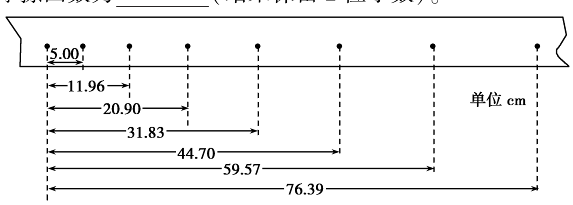
1.(2019课标Ⅱ,22,5分)如图(a),某同学设计了测量铁块与木板间动摩擦因数的实验。所用器材有:铁架台、长木板、铁块、米尺、电磁打点计时器、频率50 Hz的交流电源、纸带等。回答下列问题:



图(a)

(1)铁块与木板间动摩擦因数 μ=________(用木板与水平面的夹角 θ、重力加速度 g 和铁块下滑的加速度 a 表示)。

(2)某次实验时,调整木板与水平面的夹角使 $\theta=30°$。接通电源,开启打点计时器,释放铁块,铁块从静止开始沿木板滑下。多次重复后选择点迹清晰的一条纸带,如图(b)所示。图中的点为计数点(每两个相邻的计数点间还有4个点未画出)。重力加速度为9.80 m/s^2。可以计算出铁块与木板间的动摩擦因数为________(结果保留2位小数)。



图(b)

答案 (1)$\dfrac{g\sin\theta-a}{g\cos\theta}$ (2)0.35

解析 本题考查牛顿第二定律及考生的实验探究能力,体现了科学探究与科学推理的核心素养。

(1)对铁块,根据牛顿第二定律得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$,解得 $\mu=\dfrac{g\sin\theta-a}{g\cos\theta}$。

(2)利用逐差法可得 $a=\dfrac{[(76.39-31.83)-(31.83-5.00)]\times10^{-2}}{9\times0.1^2}$ $m/s^2=1.97\ m/s^2$,由于 $\theta=30°$,$g=9.80\ m/s^2$,则 $\mu=0.35$。

解题关键 1.利用牛顿第二定律列方程得出 μ 的表达式。2.认真读题,注意 g 用9.80 m/s^2 来计算,而不能习惯用10 m/s^2 来计算。3.利用逐差法,精准计算加速度值。

2.(2019课标Ⅲ,22,5分)甲乙两位同学设计了利用数码相机的连拍功能测重力加速度的实验。实验中,甲同学负责释放金属小球,乙同学负责在小球自由下落的时候拍照。已知相机每间隔0.1 s拍1幅照片。

(1)若要从拍得的照片中获取必要的信息,在此实验中还必须使用的器材是________。(填正确答案标号)

A.米尺 B.秒表 C.光电门 D.天平

(2)简述你选择的器材在本实验中的使用方法。

答:____。

(3)实验中两同学由连续3幅照片上小球的位置 a、b 和 c 得到 $ab=24.5$ cm、$ac=58.7$ cm,则该地的重力加速度大小为 g=________ m/s^2。(保留2位有效数字)

答案 (1)A

(2)将米尺竖直放置,使小球下落时尽量靠近米尺

(3)9.7

解析 本题考查了匀变速直线运动中数据的处理与加速度的计算,考查了学生的实验能力,体现了科学思维中模型建构、科学推理等素养要素,渗透了科技进步的价值观念。

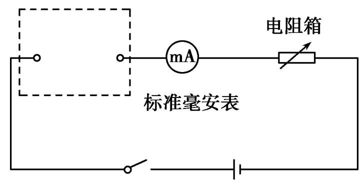
(1)运动时间可由相机拍照的时间间隔来确定,不需要秒表与光电门。本实验中不需要测量小球的质量,故不需要天平。但需测量小球下落的距离,故需要米尺。

(2)由于不知照相机的放大倍数,故不能通过测量小球在照片上下落的距离来获得小球的实际下落距离,所以只能将米尺与小球的运动拍摄在同一张照片中。因小球做自由落体运动,故米尺只能竖直放置。

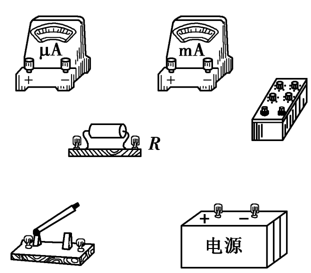
(3)由 $\Delta x=gT^2$ 得当地的重力加速度的大小为 $g=\dfrac{\Delta x}{T^2}=\dfrac{(0.587-0.245)-0.245}{0.1^2}$ $m/s^2=9.7\ m/s^2$。

方法诠释 纸带问题及类纸带问题中求物体运动的加速度,当只有两个连续数据时,可利用 $\Delta x=aT^2$ 求解;当只有两个不连续的数据时,可利用 $x_m-x_n=(m-n)aT^2$ 计算;而当给定多个连续数据时,则需采用逐差法计算。

3.(2019课标Ⅰ,23,10分)某同学要将一量程为250 μA的微安表改装为量程为20 mA的电流表。该同学测得微安表内阻为1 200 Ω,经计算后将一阻值为 R 的电阻与该微安表连接,进行改装。然后利用一标准毫安表,根据图(a)所示电路对改装后的电表进行检测(虚线框内是改装后的电表)。



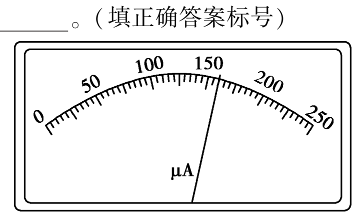
图(a)



图(b)

(1)根据图(a)和题给条件,将图(b)中的实物连线。

(2)当标准毫安表的示数为16.0 mA时,微安表的指针位置如图(c)所示。由此可以推测出所改装的电表量程不是预期值,而是________。(填正确答案标号)



图(c)

A.18 mA B.21 mA C.25 mA D.28 mA

(3)产生上述问题的原因可能是________。(填正确答案标号)

A.微安表内阻测量错误,实际内阻大于1 200 Ω

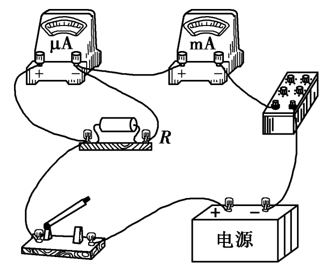
B.微安表内阻测量错误,实际内阻小于1 200 Ω

C.R 值计算错误,接入的电阻偏小

D.R 值计算错误,接入的电阻偏大

(4)要达到预期目的,无论测得的内阻值是否正确,都不必重新测量,只需要将阻值为 R 的电阻换为一个阻值为 kR 的电阻即可,其中 $k=$________。

答案　(1)连线如图所示　(2)C　(3)AC　(4)$\frac{99}{79}$



解析　本题考查了电学实验中的电表改装的相关知识;考查了考生的实验能力、分析推理能力,体现了物理核心素养中的科学探究要素,以及科学态度与责任。

(1)本实验的目的是对电流表进行扩大量程的改装,故应将定值电阻 R 与微安表并联。实物连线如答案图所示。

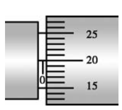
(2)当标准毫安表示数为 16.0 mA 时,微安表示数为 0.16 mA,故当微安表指针满偏时,测量的电流值应为 25 mA,选项 C 正确。

(3)出现上述现象的原因可能有两个:一是并联电阻 R 偏小;二是微安表内阻测量值偏小。故选 A、C。

(4)设微安表内阻为 R_0,满偏电流为 I_0,改装成量程为 I 的电流表时并联电阻 $R=\frac{I_0}{I-I_0}R_0$,故 $I=25$ mA 与 $I'=20$ mA 对应的并联电阻的关系为 $R'=\frac{I-I_0}{I'-I_0}R$,代入数值得 $k=\frac{I-I_0}{I'-I_0}=\frac{99}{79}$。

4.[2019 天津理综,9(3)]现测定长金属丝的电阻率。

①某次用螺旋测微器测量金属丝直径的结果如图所示,其读数是________ mm。

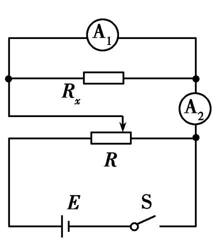


②利用下列器材设计一个电路,尽量准确地测量一段金属丝的电阻。这段金属丝的电阻 R_x 约为 100 Ω,画出实验电路图,并标明器材代号。

电源 E	(电动势 10 V,内阻约为 10 Ω)
电流表 A_1	(量程 0~250 mA,内阻 $R_1=5$ Ω)
电流表 A_2	(量程 0~300 mA,内阻约为 5 Ω)
滑动变阻器 R	(最大阻值 10 Ω,额定电流 2 A)
开关 S 及导线若干	

③某同学设计方案正确,测量得到电流表 A_1 的读数为 I_1,电流表 A_2 的读数为 I_2,则这段金属丝电阻的计算式 $R_x=$________。从设计原理看,其测量值与真实值相比________(填"偏大"、"偏小"或"相等")。

答案　①0.200(0.196~0.204 均可)　②如图　③$\frac{I_1R_1}{I_2-I_1}$　相等



解析　本题考查测定金属丝电阻率的电路设计及对应的实验原理、误差分析,考查了学生的实验设计能力和综合分析能力,体现了实验探究中问题、证据、解释的素养要素。

①螺旋测微器的分度值为 0.01 mm,需要估读一位,故读数为 0.200 mm。

②因为 R 的最大阻值比 R_x 小得多,所以滑动变阻器必须采用分压式接法。因为电流表 A_1 的内阻 R_1 有确定值,所以可把 A_1 与金属丝并联,使 A_1 起到电流表和电压表的双重作用。电路图见答案。

③由电路图可得 $R_x=\frac{U}{I}=\frac{I_1R_1}{I_2-I_1}$,本设计方案无系统误差,故测量值等于真实值。

5.(2018 课标Ⅲ,22,6 分)甲、乙两同学通过下面的实验测量人的反应时间。实验步骤如下:

(1)甲用两个手指轻轻捏住量程为 L 的木尺上端,让木尺自然下垂。乙把手放在尺的下端(位置恰好处于 L 刻度处,但未碰到尺),准备用手指夹住下落的尺。

(2)甲在不通知乙的情况下,突然松手,尺子下落;乙看到尺子下落后快速用手指夹住尺子。若夹住尺子的位置刻度为 L_1,重力加速度大小为 g,则乙的反应时间为________(用 L、L_1 和 g 表示)。

(3)已知当地的重力加速度大小为 $g=9.80\ \mathrm{m/s^2}$,$L=30.0$ cm,$L_1=10.4$ cm。乙的反应时间为________s。(结果保留 2 位有效数字)

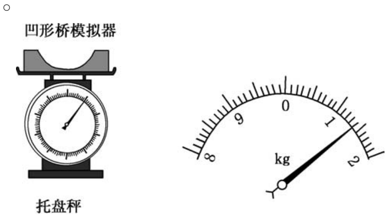
(4)写出一条能提高测量结果准确程度的建议:________________________。

答案　(2)$\sqrt{\frac{2(L-L_1)}{g}}$　(3)0.20　(4)多次测量取平均值;初始时乙的手指尽可能接近尺子

解析　本题考查自由落体运动的应用。

(2)(3)木尺做自由落体运动,由位移公式可得 $L-L_1=\frac{1}{2}gt^2$,解得 $t=\sqrt{\frac{2(L-L_1)}{g}}=\sqrt{\frac{2\times(0.300-0.104)}{9.80}}$ s$=0.20$ s

6.(2015 课标Ⅰ,22,6 分)某物理小组的同学设计了一个粗测玩具小车通过凹形桥最低点时的速度的实验。所用器材有:玩具小车、压力式托盘秤、凹形桥模拟器(圆弧部分的半径为 $R=0.20$ m)。



图(a)　　　图(b)

完成下列填空:

(1)将凹形桥模拟器静置于托盘秤上,如图(a)所示,托盘秤的示数为 1.00 kg;

(2)将玩具小车静置于凹形桥模拟器最低点时,托盘秤的示数如图(b)所示,该示数为________kg;

(3)将小车从凹形桥模拟器某一位置释放,小车经过最低点后滑向另一侧。此过程中托盘秤的最大示数为 m;多次从同一位置释放小车,记录各次的 m 值如下表所示:

序号	1	2	3	4	5
m(kg)	1.80	1.75	1.85	1.75	1.90

(4)根据以上数据,可求出小车经过凹形桥最低点时对桥

的压力为________N;小车通过最低点时的速度大小为________m/s。(重力加速度大小取 9.80 m/s^2,计算结果保留2位有效数字)

答案 (2)1.40(2分) (4)7.9(2分) 1.4(2分)

解析 (2)示数为 1.40 kg,注意估读。

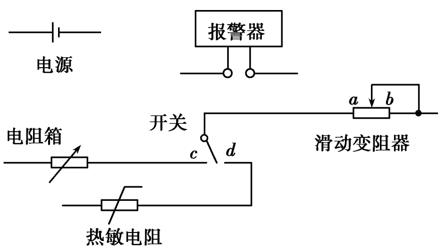
(4)小车经过凹形桥最低点时对桥的压力 $N=\overline{m}g-M_{桥}g=(1.81-1.00)\times9.80\ \text{N}=7.9\ \text{N}$,小车通过最低点时受到的支持力 $N'=N=7.9\ \text{N}$,小车质量 $m_{车}=1.40\ \text{kg}-1.00\ \text{kg}=0.40\ \text{kg}$,由 $N'-m_{车}g=m_{车}\dfrac{v^2}{R}$,解得 $v=1.4\ \text{m/s}$。

思路点拨 ①秤的分度值为 0.1 kg,读数时应估读到分度值的下一位。②对桥的压力是玩具小车对桥施加的力,而秤的示数等于桥对秤的压力。

7.(2016课标Ⅰ,23,10分)现要组装一个由热敏电阻控制的报警系统,要求当热敏电阻的温度达到或超过60 ℃时,系统报警。提供的器材有:热敏电阻,报警器(内阻很小,流过的电流超过 I_c 时就会报警),电阻箱(最大阻值为999.9 Ω),直流电源(输出电压为 U,内阻不计),滑动变阻器 R_1(最大阻值为1 000 Ω),滑动变阻器 R_2(最大阻值为2 000 Ω),单刀双掷开关一个,导线若干。

在室温下对系统进行调节。已知 U 约为 18 V,I_c 约为 10 mA;流过报警器的电流超过 20 mA 时,报警器可能损坏;该热敏电阻的阻值随温度升高而减小,在 60 ℃时阻值为650.0 Ω。

(1)完成待调节的报警系统原理电路图的连线。



(2)电路中应选用滑动变阻器________(填"R_1"或"R_2")。

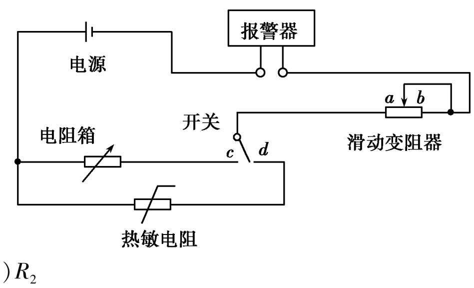
(3)按照下列步骤调节此报警系统:

①电路接通前,需将电阻箱调到一固定的阻值,根据实验要求,这一阻值为________Ω;滑动变阻器的滑片应置于________(填"a"或"b")端附近,不能置于另一端的原因是________________________________。

②将开关向________(填"c"或"d")端闭合,缓慢移动滑动变阻器的滑片,直至________________。

(4)保持滑动变阻器滑片的位置不变,将开关向另一端闭合,报警系统即可正常使用。

答案 (1)连线如图所示



(2)R_2

(3)①650.0 b 接通电源后,流过报警器的电流会超过 20 mA,报警器可能损坏 ②c 报警器开始报警

解析 (1)见答案。

(2)由 $R=\dfrac{U}{I_c}=\dfrac{18}{10\times10^{-3}}\ \Omega=1\ 800\ \Omega$ 可知,滑动变阻器应选 R_2。

(3)①电阻箱的电阻值应调为热敏电阻在 60 ℃时的阻值,即 650.0 Ω。滑动变阻器的滑片应置于 b 端,使开关接通后回路中电流最小,以保护报警器,即防止因过载而损坏报警器。

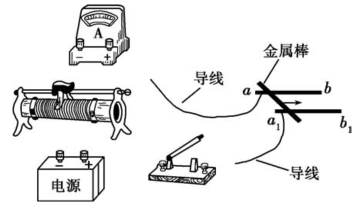
②应将开关向 c 端闭合,然后对系统进行调节。

解题指导 从提供的单刀双掷开关可以看出,当开关与 c 接通时,应形成一个完整的电路,以便对系统进行调节。当调节完成后,只要将开关与 d 接通,就可以用于报警。

由报警电流推算回路中的总电阻值,便可大致确定滑动变阻器的最小阻值,从而确定选用哪一个变阻器。

反思总结 电学实验题千变万化,但电路的基本要素几乎是不变的,即实验电路总是由"控制电路"和"工作电路"组成。

8.(2016课标Ⅲ,22,5分)某同学用图中所给器材进行与安培力有关的实验。两根金属导轨 ab 和 a_1b_1 固定在同一水平面内且相互平行,足够大的电磁铁(未画出)的 N 极位于两导轨的正上方,S 极位于两导轨的正下方,一金属棒置于导轨上且与两导轨垂直。



(1)在图中画出连线,完成实验电路。要求滑动变阻器以限流方式接入电路,且在开关闭合后,金属棒沿箭头所示的方向移动。

(2)为使金属棒在离开导轨时具有更大的速度,有人提出以下建议:

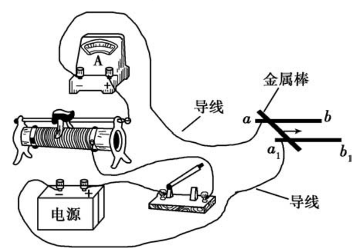
A.适当增加两导轨间的距离

B.换一根更长的金属棒

C.适当增大金属棒中的电流

其中正确的是______(填入正确选项前的标号)。

答案 (1)如图所示(2分)



(2)AC(3分。选对一个给2分,选对两个给3分,有选错的不给这3分)

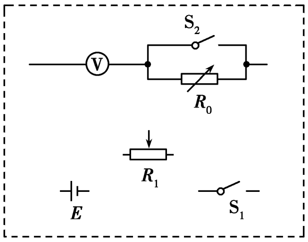
解析 (1)根据左手定则得金属棒中电流为从 a 流向 a_1。要求滑动变阻器以限流方式接入电路中,故滑动变阻器接线柱上下各用一个。(2)为使金属棒在离开导轨时具有更大的速度,应使它所受安培力 $F=BIL$ 增大,所以适当增加两导轨间的距离时有效长度 L 增大,F 变大,A 项正确;只换更长的金属棒时有效长度 L 不变,B 项错;增大电流,F 也增大,C 项正确。

反思总结 做实物连线题时注意:①先用铅笔画,然后用签字笔描;②连线时画出的连线不能相交;③连接滑动变阻器时连线不能与滑片连接。

9.(2015 课标Ⅱ,23,9 分)电压表满偏时通过该表的电流是半偏时通过该表电流的两倍。某同学利用这一事实测量电压表的内阻(半偏法),实验室提供的器材如下:

待测电压表Ⓥ(量程 3 V,内阻约为 3 000 Ω),电阻箱 R_0(最大阻值为 99 999.9 Ω),滑动变阻器 R_1(最大阻值 100 Ω,额定电流 2 A),电源 E(电动势 6 V,内阻不计),开关 2 个,导线若干。

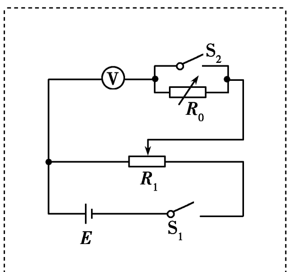
(1)虚线框内为该同学设计的测量电压表内阻的电路图的一部分,将电路图补充完整。



(2)根据设计的电路,写出实验步骤:____。

(3)将这种方法测出的电压表内阻记为 R_V',与电压表内阻的真实值 R_V 相比,R_V'______R_V(填">"、"="或"<"),主要理由是____。

答案　(1)实验电路图如图所示(2 分)



(2)移动滑动变阻器的滑片,以保证通电后电压表所在支路分压最小(1 分);闭合开关 S_1、S_2,调节 R_1,使电压表的指针满偏(1 分);保持滑动变阻器滑片的位置不变(1 分),断开 S_2,调节电阻箱 R_0 使电压表的指针半偏(1 分);读取电阻箱所示的电阻值,此即为测得的电压表内阻(1 分)

(3)>(1 分)　断开 S_2,调节电阻箱使电压表成半偏状态,电压表所在支路总电阻增大,分得的电压也增大;此时 R_0 两端的电压大于电压表的半偏电压,故 $R_V'>R_V$(1 分,其他合理说法同样给分)

解析　(1)由于 R_1 的总阻值远小于测量电路总电阻,故控制电路采用分压式接法,电路图见答案。

(2)(3)见答案。

评析　试题考查了半偏法测电压表内阻的原理、步骤及实验的系统误差,试题难度较小,考查点基础,在一定程度上考查了考生的分析、推理能力。

10.[2018 天津理综,9(3)]某同学用伏安法测定待测电阻 R_x 的阻值(约为 10 kΩ),除了 R_x、开关 S、导线外,还有下列器材供选用:

A.电压表(量程 0~1 V,内阻约 10 kΩ)

B.电压表(量程 0~10 V,内阻约 100 kΩ)

C.电流表(量程 0~1 mA,内阻约 30 Ω)

D.电流表(量程 0~0.6 A,内阻约 0.05 Ω)

E.电源(电动势 1.5 V,额定电流 0.5 A,内阻不计)

F.电源(电动势 12 V,额定电流 2 A,内阻不计)

G.滑动变阻器 R_0(阻值范围 0~10 Ω,额定电流 2 A)

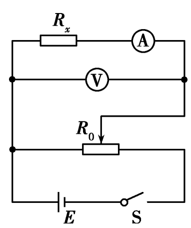
①为使测量尽量准确,电压表选用__________,电流表选用__________,电源选用__________。(均填器材的字母代号)

②画出测量 R_x 阻值的实验电路图。

③该同学选择器材、连接电路和操作均正确,从实验原理上看,待测电阻测量值会________其真实值(填"大于"、"小于"或"等于"),原因是______________。

答案　①B　C　F

②如图所示



③大于　电压表的读数大于待测电阻两端实际电压(其他正确表述也可)

解析　本题考查伏安法测电阻。

①由于 R_x 的阻值约为 10 kΩ,电压表内阻应远大于 10 kΩ,故电压表应选 B;电路电流最大值约为 1 mA,故电流表应选 C;电源应选 F。

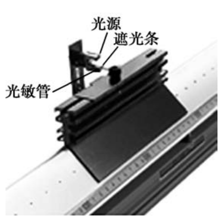
②因 $R_x>\sqrt{R_AR_V}$,属于大电阻,故电流表采用内接法,而滑动变阻器 R_0 的阻值小于 R_x,则滑动变阻器 R_0 采用分压式接法,如答案图所示。

③由于电压表的读数为电阻 R_x 和电流表内阻的分压和,而电流表的读数是流过 R_x 的实际电流,故待测电阻测量值会大于其真实值。

知识拓展　若滑动变阻器的阻值小于被测电阻值,为减小误差,滑动变阻器采用分压式接法。

C 组　教师专用题组

1.(2015 浙江理综,15,6 分)如图所示,气垫导轨上滑块经过光电门时,其上的遮光条将光遮住,电子计时器可自动记录遮光时间 Δt。测得遮光条的宽度为 Δx,用$\frac{\Delta x}{\Delta t}$近似代表滑块通过光电门时的瞬时速度。为使$\frac{\Delta x}{\Delta t}$更接近瞬时速度,正确的措施是　(　　)



A.换用宽度更窄的遮光条

B.提高测量遮光条宽度的精确度

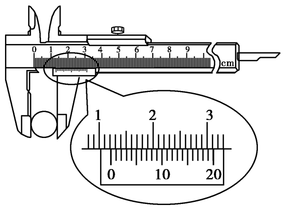
C.使滑块的释放点更靠近光电门

D.增大气垫导轨与水平面的夹角

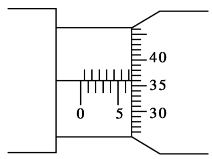
答案　A　$\frac{\Delta x}{\Delta t}$实质上是滑块通过光电门时的平均速度,所以要使瞬时速度的测量值更接近于真实值,可将遮光条的宽度减小一些,所以 B、C、D 项错误,A 项正确。

2.(2015 海南单科,11,6 分)某同学利用游标卡尺和螺旋测微器分别测量一圆柱体工件的直径和高度,测量结果如图(a)和

(b)所示。该工件的直径为________cm,高度为________mm。



图(a)



图(b)

答案 1.220 6.860

解析 图(a)为20分度的游标卡尺,其精度为0.05 mm。主尺读数为12 mm,游标尺上第4条刻线与主尺上的一条刻线对齐,故测量结果为12 mm+4×0.05 mm=12.20 mm=1.220 cm。螺旋测微器的精度为0.01 mm,由图(b)知固定刻度读数为6.5 mm,可动刻度读数为0.360 mm,故工件的高度为6.5 mm+0.360 mm=6.860 mm。

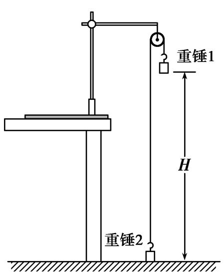
3.(2018江苏单科,11,10分) 某同学利用如图所示的实验装置来测量重力加速度g。细绳跨过固定在铁架台上的轻质滑轮,两端各悬挂一只质量为M的重锤。实验操作如下:

①用米尺量出重锤1底端距地面的高度H;

②在重锤1上加上质量为m的小钩码;

③左手将重锤2压在地面上,保持系统静止。释放重锤2,同时右手开启秒表,在重锤1落地时停止计时,记录下落时间;

④重复测量3次下落时间,取其平均值作为测量值t。



请回答下列问题:

(1)步骤④可以减小对下落时间t测量的____________(选填“偶然”或“系统”)误差。

(2)实验要求小钩码的质量m要比重锤的质量M小很多,主要是为了______________。

A.使H测得更准确

B.使重锤1下落的时间长一些

C.使系统的总质量近似等于$2M$

D.使细绳的拉力与小钩码的重力近似相等

(3)滑轮的摩擦阻力会引起实验误差。现提供一些橡皮泥用于减小该误差,可以怎么做?

(4)使用橡皮泥改进实验后,重新进行实验测量,并测出所用橡皮泥的质量为m_0。用实验中的测量量和已知量表示g,得g=________。

答案 (1)偶然 (2)B

(3)在重锤1上粘上橡皮泥,调整橡皮泥质量直至轻拉重锤1后松手,能观察到其匀速下落。

(4)$\dfrac{2(2M+m+m_0)H}{mt^2}$

解析 本题考查利用牛顿第二定律和匀变速直线运动规律测重力加速度。

(2)m相对M越小,系统的加速度越小,重锤1下落的时间就越长,测量时间的相对误差就越小,故选B。

(3)在重锤1上粘上橡皮泥,轻拉重锤1后松手,若能匀速运动,就说明平衡了摩擦阻力。

(4)系统匀加速下落的过程中有:$H=\dfrac{1}{2}at^2$ ①

$mg=(2M+m+m_0)a$ ②

解①②得:

$g=\dfrac{2(2M+m+m_0)H}{mt^2}$。

疑难突破 对于创新型的实验,弄清实验原理,一切问题就迎刃而解了。

4.(2018北京理综,21,18分) 用图1所示的实验装置研究小车速度随时间变化的规律。

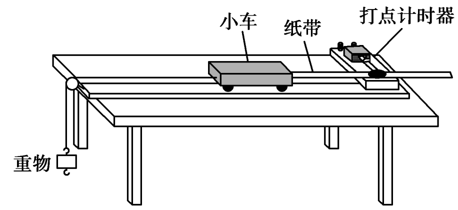


图1

主要实验步骤如下:

a.安装好实验器材,接通电源后,让拖着纸带的小车沿长木板运动,重复几次。

b.选出一条点迹清晰的纸带,找一个合适的点当作计时起点$O(t=0)$,然后每隔相同的时间间隔T选取一个计数点,如图2中A、B、C、D、E、F……所示。

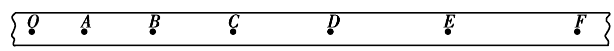


图2

c.通过测量、计算可以得到在打A、B、C、D、E……点时小车的速度,分别记作v_1、v_2、v_3、v_4、v_5……

d.以速度v为纵轴、时间t为横轴建立直角坐标系,在坐标纸上描点,如图3所示。

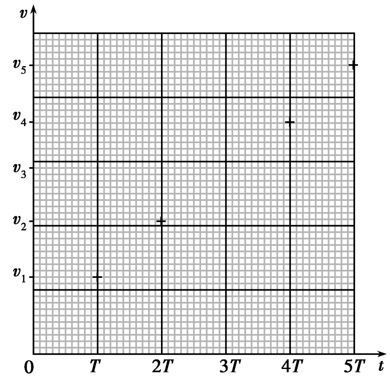


图3

结合上述实验步骤,请你完成下列任务:

(1)在下列仪器和器材中,还需要使用的有________和________(填选项前的字母)。

A.电压合适的50 Hz交流电源

B.电压可调的直流电源

C.刻度尺

D.秒表

E.天平(含砝码)

（2）在图 3 中已标出计数点 A、B、D、E 对应的坐标点，请在该图中标出计数点 C 对应的坐标点，并画出$v-t$ 图像。

（3）观察 $v-t$ 图像，可以判断小车做匀变速直线运动，其依据是________________。$v-t$ 图像斜率的物理意义是________。

（4）描绘 $v-t$ 图像前，还不知道小车是否做匀变速直线运动。用平均速度$\frac{\Delta x}{\Delta t}$表示各计数点的瞬时速度，从理论上讲，对 Δt 的要求是________（选填“越小越好”或“与大小无关”）；从实验的角度看，选取的 Δx 大小与速度测量的误差________（选填“有关”或“无关”）。

（5）早在 16 世纪末，伽利略就猜想落体运动的速度应该是均匀变化的。当时只能靠滴水计时，为此他设计了如图 4 所示的“斜面实验”，反复做了上百次，验证了他的猜想。请你结合匀变速直线运动的知识，分析说明如何利用伽利略“斜面实验”检验小球的速度是随时间均匀变化的。

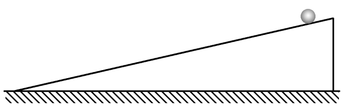
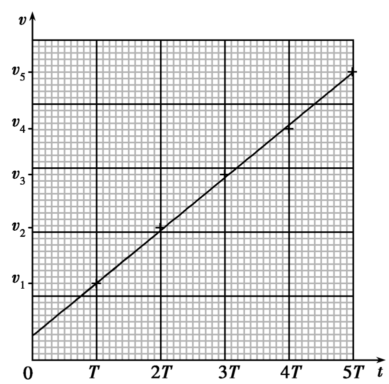


图 4

答案　（1）A　C

（2）如图所示



（3）小车的速度随时间均匀变化　加速度

（4）越小越好　有关

（5）如果小球的初速度为 0，其速度 $v\propto t$，那么它通过的位移 $x\propto t^2$。因此，只要测量小球通过不同位移所用的时间，就可以检验小球的速度是否随时间均匀变化。

解析　本题考查研究匀变速直线运动规律的实验。

（1）打点计时器所用电源为 50 Hz 的交流电源，测量各计数点间距离需用刻度尺。

（2）图见答案。

（3）因为小车的速度随时间均匀变化，所以小车做匀加速直线运动。由匀加速直线运动中速度 $v=v_0+at$，可知 $v-t$ 图像斜率的物理意义是加速度。

（4）$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$，若用 $\bar{v}$表示瞬时速度，Δt 越小越好，而选取的 Δx 大小会影响速度测量值与真实值的偏差大小。

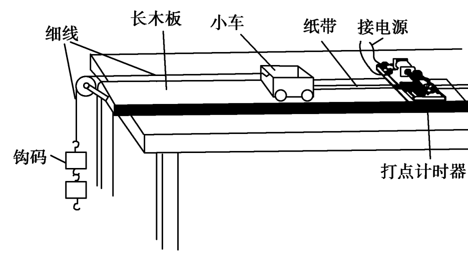
（5）设 $v_0=0$，$v=at$，而 $x=\frac{1}{2}at^2$，故可通过位移随时间的变化情况，判断速度随时间的变化情况。

解题关键　实验原理的认识

（1）图像法是实验中常用的方法，要学会通过图像分析问题。

（2）测量量的转换是实验中的常用手段，当某一个物理量不易测量时，可通过该量与其他量的关系式，转换成其他可测量的物理量。如将速度的测量转换成位移的测量。

5.［2016 天津理综，9（2）］某同学利用图示装置研究小车的匀变速直线运动。



①实验中，必要的措施是________。

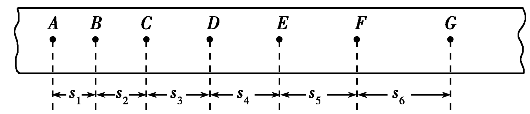
A.细线必须与长木板平行

B.先接通电源再释放小车

C.小车的质量远大于钩码的质量

D.平衡小车与长木板间的摩擦力

②他实验时将打点计时器接到频率为 50 Hz 的交流电源上，得到一条纸带，打出的部分计数点如图所示（每相邻两个计数点间还有 4 个点，图中未画出）。$s_1=3.59$ cm，$s_2=4.41$ cm，$s_3=5.19$ cm，$s_4=5.97$ cm，$s_5=6.78$ cm，$s_6=7.64$ cm。则小车的加速度 $a=$________m/s^2（要求充分利用测量的数据），打点计时器在打 B 点时小车的速度 $v_B=$________m/s。（结果均保留两位有效数字）



答案　①AB　②0.80　0.40

解析　①若细线与长木板不平行，随着小车逐渐靠近滑轮，细线与水平方向的夹角增大，小车所受合力随之变化，因此小车的加速度发生变化，即小车不做匀变速直线运动，故细线必须与长木板平行，A 选项必要。先接通电源，待打点计时器稳定工作后再释放小车，点迹按匀变速运动规律显现在纸带上；若先释放小车再接通电源，则开始阶段点迹不规律，误差较大，故 B 项必要。该实验研究小车的匀变速直线运动，与小车所受到的合力及合力大小的计算无关，故 C、D 项不必要。

②交流电的频率为 $f=50$ Hz，相邻两计数点间的时间间隔 $t=0.1$ s，由逐差法可求小车的加速度。

$$a=\frac{(s_6+s_5+s_4)-(s_3+s_2+s_1)}{(3t)^2}=\frac{(20.39-13.19)\times10^{-2}}{9\times10^{-2}}\ \text{m/s}^2=0.80\ \text{m/s}^2$$

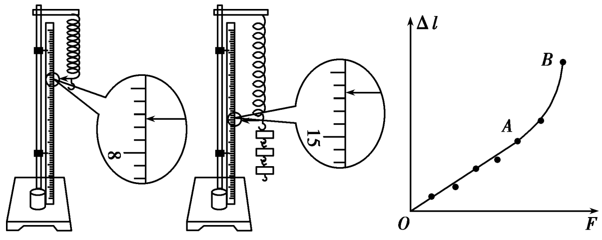
$$v_B=\frac{s_1+s_2}{2t}=\frac{(3.59+4.41)\times10^{-2}}{2\times0.1}\ \text{m/s}=0.40\ \text{m/s}$$

解题指导　①在研究匀变速直线运动的实验中，只需保证小车做匀变速直线运动，与加速度的大小和决定其大小的因素无关，因此没必要要求小车的质量远大于钩码的质量及平衡摩擦力。

②为了减小误差，计算加速度时应用逐差法。B 点为 A、C 的中间时刻点，在匀变速直线运动中，中间时刻的速度等于该段时间内的平均速度（$v_{\frac{t}{2}}=\bar{v}$）。

6.［2015 福建理综，19（1），6 分］某同学做“探究弹力和弹簧伸长量的关系”的实验。

①图甲是不挂钩码时弹簧下端指针所指的标尺刻度，其示数为 7.73 cm；图乙是在弹簧下端悬挂钩码后指针所指的标尺刻度，此时弹簧的伸长量 Δl 为________cm；



甲 乙 丙

②本实验通过在弹簧下端悬挂钩码的方法来改变弹簧的弹力,关于此操作,下列选项中规范的做法是________;(填选项前的字母)

A.逐一增挂钩码,记下每增加一只钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重

B.随意增减钩码,记下增减钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重

③图丙是该同学描绘的弹簧的伸长量 Δl 与弹力 F 的关系图线,图线的 AB 段明显偏离直线 OA,造成这种现象的主要原因是____________________。

答案 ①6.93 ②A ③超过弹簧的弹性限度

解析 ①$\Delta l=14.66\ \text{cm}-7.73\ \text{cm}=6.93\ \text{cm}$

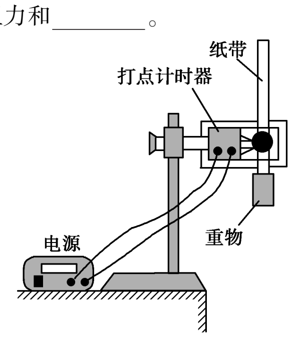
②应逐一增挂钩码,不能随意增减,A项正确。

③弹簧下端钩码对弹簧的拉力过大,使弹簧形变量超过了弹簧的弹性限度,弹簧的伸长量不再是线性变化。

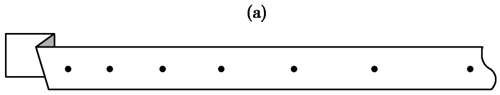
7.[2015广东理综,34(1),8分]某同学使用打点计时器测量当地的重力加速度。

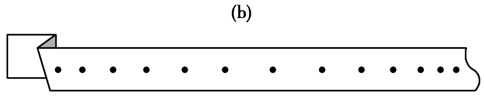
①请完成以下主要实验步骤:按图(a)安装实验器材并连接电源;竖直提起系有重物的纸带,使重物________(填"靠近"或"远离")计时器下端;________,________,使重物自由下落;关闭电源,取出纸带;换新纸带重复实验。

②图(b)和(c)是实验获得的两条纸带,应选取________[填"(b)"或"(c)"]来计算重力加速度。在实验操作和数据处理都正确的情况下,得到的结果仍小于当地重力加速度,主要原因是空气阻力和________。



(a)


(b)


(c)

答案 ①靠近 接通电源 释放纸带

②(b) 纸带与限位孔间的摩擦

解析 ①重物靠近打点计时器下端,可在纸带上打下更多的点,提高纸带利用率。为了能在纸带上打下尽可能多的点,且避免因打点计时器在接通电源后工作状态不稳而引起的误差,要求先接通电源,待计时器工作稳定后再释放纸带。

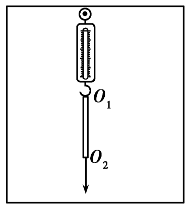
②比较图(b)与(c)可知,图(b)中重物做匀加速运动,而图(c)中重物先加速后减速,故应选用(b)。由 $ma=mg-f$ 知 $a=g-\dfrac{f}{m}$,测得 $a<g$ 的原因是阻力 f 的存在,而除了空气阻力外,纸带与限位孔间的摩擦也是阻力的主要来源,另外,两限位孔不在同一竖直线上,纸带不竖直等因素也会增大阻力。

8.(2015山东理综,21,10分)某同学通过下述实验验证力的平行四边形定则。

实验步骤:

①将弹簧秤固定在贴有白纸的竖直木板上,使其轴线沿竖直方向。

②如图甲所示,将环形橡皮筋一端挂在弹簧秤的秤钩上,另一端用圆珠笔尖竖直向下拉,直到弹簧秤示数为某一设定值时,将橡皮筋两端的位置标记为 O_1、O_2,记录弹簧秤的示数 F,测量并记录 O_1、O_2 间的距离(即橡皮筋的长度 l)。每次将弹簧秤示数改变 0.50 N,测出所对应的 l,部分数据如下表所示:

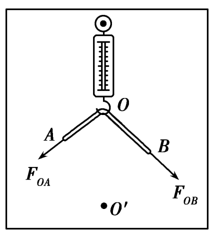


图甲

F(N)	0	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
l(cm)	l_0	10.97	12.02	13.00	13.98	15.05

③找出②中 $F=2.50$ N 时橡皮筋两端的位置,重新标记为 O、O',橡皮筋的拉力记为 $F_{OO'}$。

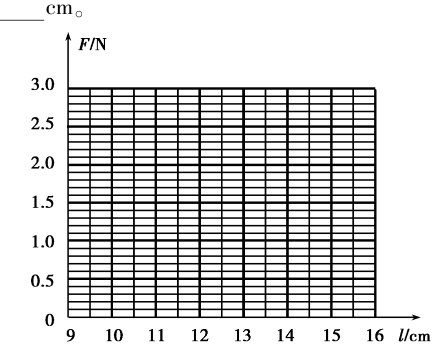
④在秤钩上涂抹少许润滑油,将橡皮筋搭在秤钩上,如图乙所示。用两圆珠笔尖成适当角度同时拉橡皮筋的两端,使秤钩的下端达到 O 点,将两笔尖的位置标记为 A、B,橡皮筋 OA 段的拉力记为 F_{OA},OB 段的拉力记为 F_{OB}。



图乙

完成下列作图和填空:

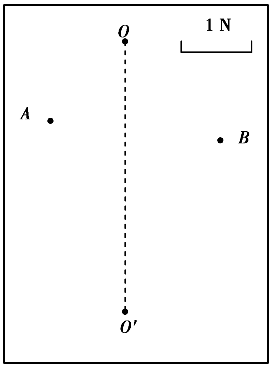
(1)利用表中数据在图丙中画出 $F-l$ 图线,根据图线求得 $l_0=$________cm。



图丙

(2)测得 $OA=6.00$ cm,$OB=7.60$ cm,则 F_{OA} 的大小为________N。

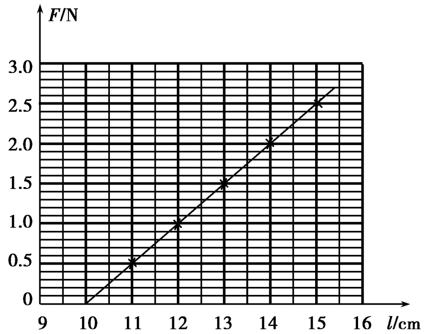
(3)根据给出的标度,作出 F_{OA} 和 F_{OB} 的合力 F' 的图示。



图丁

(4)通过比较 F' 与________的大小和方向,即可得出实验结论。

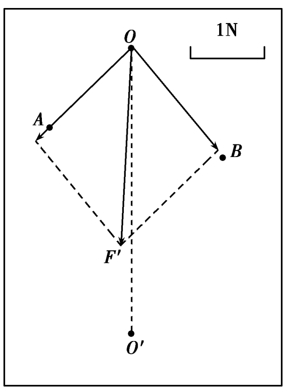
答案　(1)如图甲所示　10.0(9.8、9.9、10.1 均正确)



图甲

(2)1.80(1.70~1.90 均正确)

(3)如图乙所示



图乙

(4)$F_{OO'}$

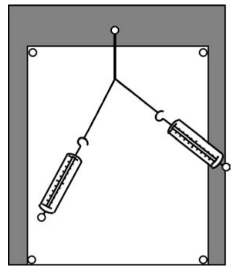
解析　(1)根据表格数据,作出 $F-l$ 图线,图线的横截距即表示橡皮筋原长,因此 $l_0=10.0$ cm。

(2)橡皮筋总长 $l=OA+OB=13.60$ cm,根据 $F-l$ 图线,可读出橡皮筋长度 $l=13.60$ cm 时橡皮筋的拉力为 1.80 N。

(3)根据平行四边形定则作图,对角线表示合力 F'。

(4)若 F' 与 $F_{OO'}$ 在误差范围内大小相等、方向相同,就表明力的平行四边形定则是正确的。

9.[2015 安徽理综,21 Ⅰ]在"验证力的平行四边形定则"实验中,某同学用图钉把白纸固定在水平放置的木板上,将橡皮条的一端固定在板上一点,两个细绳套系在橡皮条的另一端。用两个弹簧测力计分别拉住两个细绳套,互成角度地施加拉力,使橡皮条伸长,结点到达纸面上某一位置,如图所示。请将以下的实验操作和处理补充完整:



①用铅笔描下结点位置,记为 O;

②记录两个弹簧测力计的示数 F_1 和 F_2,沿每条细绳(套)的方向用铅笔分别描出几个点,用刻度尺把相应的点连成线;

③只用一个弹簧测力计,通过细绳套把橡皮条的结点仍拉到位置 O,记录测力计的示数 F_3,________________________________;

④按照力的图示要求,作出拉力 F_1、F_2、F_3;

⑤根据力的平行四边形定则作出 F_1 和 F_2 的合力 F;

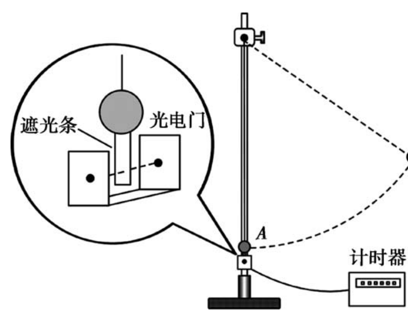
⑥比较________的一致程度,若有较大差异,对其原因进行分析,并作出相应的改进后再次进行实验。

答案　③见解析　⑥F 和 F_3

解析　③沿此时细绳(套)的方向用铅笔描出几个点,用刻度尺把这些点连成直线。

⑥为了验证力的平行四边形定则,需比较合力 F 与拉力 F_3 的一致程度。

10.(2016 江苏单科,11,10 分)某同学用如图甲所示的装置验证机械能守恒定律。一根细线系住钢球,悬挂在铁架台上,钢球静止于 A 点。光电门固定在 A 的正下方,在钢球底部竖直地粘住一片宽度为 d 的遮光条。将钢球拉至不同位置由静止释放,遮光条经过光电门的挡光时间 t 可由计时器测出,取 $v=\frac{d}{t}$作为钢球经过 A 点时的速度。记录钢球每次下落的高度 h 和计时器示数 t,计算并比较钢球在释放点和 A 点之间的势能变化大小 ΔE_p 与动能变化大小 ΔE_k,就能验证机械能是否守恒。



图甲

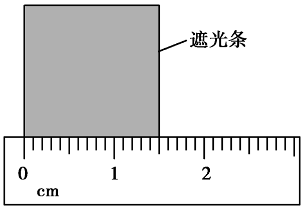
(1)用 $\Delta E_p=mgh$ 计算钢球重力势能变化的大小,式中钢球下落高度 h 应测量释放时的钢球球心到________之间的竖直距离。

A.钢球在 A 点时的顶端

B.钢球在 A 点时的球心

C.钢球在 A 点时的底端

(2)用 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 计算钢球动能变化的大小。用刻度尺测量遮光条宽度,示数如图乙所示,其读数为________cm。某次测量中,计时器的示数为 0.010 0 s,则钢球的速度为 $v=$________m/s。



图乙

(3)下表为该同学的实验结果:

$\Delta E_p(\times10^{-2}$ J)	4.892	9.786	14.69	19.59	29.38
$\Delta E_k(\times10^{-2}$ J)	5.04	10.1	15.1	20.0	29.8

他发现表中的 ΔE_p 与 ΔE_k 之间存在差异,认为这是由于空气阻力造成的。你是否同意他的观点?请说明理由。

(4)请你提出一条减小上述差异的改进建议。

答案 (1)B (2)1.50(1.49~1.51 都算对)

1.50(1.49~1.51 都算对)

(3)不同意,因为空气阻力会造成 ΔE_k 小于 ΔE_p,但表中 ΔE_k 大于 ΔE_p。

(4)分别测出光电门和球心到悬点的长度 L 和 l,计算 ΔE_k 时,将 v 折算成钢球的速度 $v'=\frac{l}{L}v$。

解析 (1)要考虑钢球重力势能的改变量大小,需要测量钢球球心下降的高度 h,因此要测量钢球在释放点和 A 点时球心之间的竖直距离,选项 B 正确。

(2)刻度尺的读数为 1.50 cm,钢球的速度 $v=\frac{d}{t}=\frac{1.50\times10^{-2}}{0.010\ 0}$ m/s=1.50 m/s。

(3)由动能定理可知,$mgh-W_f=\Delta E_k$,即 $\Delta E_p-W_f=\Delta E_k$,$\Delta E_p>\Delta E_k$,所以空气阻力会造成 $\Delta E_p>\Delta E_k$,但表中为 $\Delta E_k>\Delta E_p$,因此不同意他的观点。

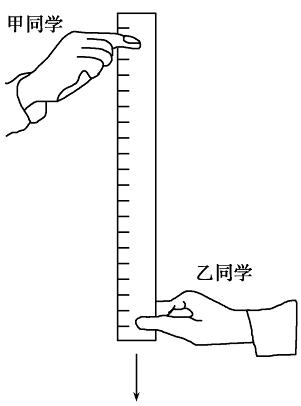
(4)钢球球心和遮光条都绕悬点做圆周运动,但运动半径不同,因此分别测出光电门和球心到悬点的长度 L 和 l,遮光条在光电门处的速度 $v=\frac{d}{t}$,则钢球的速度 $v'=\frac{v}{L}\cdot l$,可以减小表中差异。

解题指导 (1)钢球高度的改变应为钢球球心间的高度差,因此应测球心间的竖直距离。

(3)存在空气阻力,因此重力势能的改变量应大于动能的改变量。

(4)不同半径,同一圆心的圆周运动,其线速度不同,故应将遮光条在光电门处的速度折算成钢球球心处的速度。

11.[2015 重庆理综,6(1)]同学们利用如图所示方法估测反应时间。



首先,甲同学捏住直尺上端,使直尺保持竖直状态,直尺零刻度线位于乙同学的两指之间。当乙看见甲放开直尺时,立即用手指捏直尺,若捏住位置的刻度读数为 x,则乙同学的反应时间为______(重力加速度为 g)。

基于上述原理,某同学用直尺制作测量反应时间的工具,若测量范围为 0~0.4 s,则所用直尺的长度至少为______cm(g 取 10 m/s^2);若以相等时间间隔在该直尺的另一面标记出表示反应时间的刻度线,则每个时间间隔在直尺上对应的长度是________的(选填"相等"或"不相等")。

答案 $\sqrt{\frac{2x}{g}}$ 80 不相等

解析 由 $x=\frac{1}{2}gt^2$ 得乙同学的反应时间为 $t=\sqrt{\frac{2x}{g}}$。当 $t=0.4$ s 时,$x=\frac{1}{2}\times10\times0.4^2$ m=0.8 m=80 cm。因为 $x=\frac{1}{2}gt^2$,即 x 与 t 不是成线性关系,故对应相同的时间间隔发生的位移不相等。

12.(2015 浙江理综,21,10 分)甲同学准备做"验证机械能守恒定律"实验,乙同学准备做"探究加速度与力、质量的关系"实验。

(1)图 1 中 A、B、C、D、E 表示部分实验器材,甲同学需在图中选用的器材________;乙同学需在图中选用的器材________。(用字母表示)

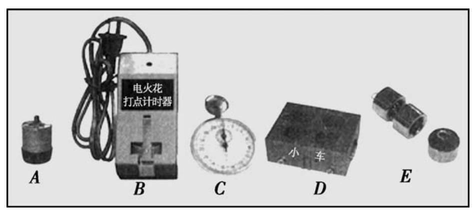


图 1

(2)乙同学在实验室选齐所需器材后,经正确操作获得如图 2 所示的两条纸带①和②。纸带________的加速度大(填"①"或"②"),其加速度大小为________。

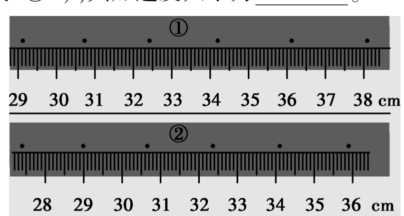


图 2

答案 (1)AB BDE

(2)① (2.5±0.2) m/s^2

解析 (1)做"验证机械能守恒定律"实验时,需在图中选用:A 重锤,B 电火花打点计时器;做"探究加速度与力、质量的关系"实验时,需在图中选用:B 电火花打点计时器,D 小车,E 钩码。

(2)在纸带①中 $\Delta x_1=1.0$ mm。

在纸带②中 $\Delta x_2=0.5$ mm。

所以 $\Delta x_1>\Delta x_2$ 再由 $\Delta x=aT^2$ 可得纸带①的加速度大,其值为 $a=\frac{\Delta x_1}{T^2}=\frac{1\times10^{-3}}{0.02^2}$ m/s^2=2.5 m/s^2。

13.(2015 江苏单科,11,10 分)某同学探究小磁铁在铜管中下落时受电磁阻尼作用的运动规律。实验装置如图 1 所示,打点计时器的电源为 50 Hz 的交流电。

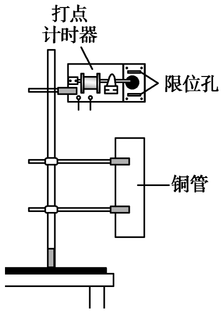


图 1

(1)下列实验操作中,不正确的有________。

A.将铜管竖直地固定在限位孔的正下方

B.纸带穿过限位孔,压在复写纸下面

C.用手捏紧磁铁保持静止,然后轻轻地松开让磁铁下落

D.在磁铁下落的同时接通打点计时器的电源

(2)该同学按正确的步骤进行实验(记为"实验①"),将磁铁从管口处释放,打出一条纸带,取开始下落的一段,确定一合适的点为 O 点,每隔一个计时点取一个计数点,标为1,2,…,8。用刻度尺量出各计数点的相邻两计时点到 O 点的距离,记录在纸带上,如图 2 所示。

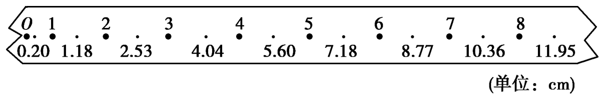


图 2

计算相邻计时点间的平均速度 $\bar{v}$,粗略地表示各计数点的速度,抄入下表。请将表中的数据补充完整。

位置	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{v}$(cm/s)	24.5	33.8	37.8	____	39.5	39.8	39.8	39.8

(3)分析上表的实验数据可知:在这段纸带记录的时间内,磁铁运动速度的变化情况是________;磁铁受到阻尼作用的变化情况是________。

(4)该同学将装置中的铜管更换为相同尺寸的塑料管,重复上述实验操作(记为"实验②"),结果表明磁铁下落的运动规律与自由落体运动规律几乎相同。请问实验②是为了说明什么?对比实验①和②的结果可得到什么结论?

答案　(1)CD

(2)39.0

(3)逐渐增大到 39.8 cm/s　逐渐增大到等于重力

(4)为了说明磁铁在塑料管中几乎不受阻尼作用。磁铁在铜管中受到的阻尼作用主要是电磁阻尼作用

解析　(1)本实验的目的是研究小磁铁在铜管中下落时受电磁阻尼作用的运动规律,故实验中必须保证小磁铁除受重力、磁力外不受其他力的作用,故铜管需竖直地固定在限位孔正下方以保证磁铁在下落过程中不与铜管摩擦与碰撞,A 正确。纸带穿过限位孔可以保证纸带的正确方位,置于复写纸下面可以保证打点清晰,B 正确。释放纸带前应手提纸带上端使纸带竖直,小磁铁静止,故 C 错误。释放小磁铁前应先接通打点计时器的电源,待其工作稳定后方可放开纸带,D 错误。(2)由图 2 可得 $\bar{v}_4=\dfrac{5.60-4.04}{2\times0.02}$ cm/s = 39.0 cm/s。(3)由表中数据可以看出,磁铁运动的速度在相等时间内的增量逐渐减小,最终保持 39.8 cm/s 的速度不变,即磁铁运动中加速度逐渐减小,最终为零,则由 $mg-f=ma$ 知阻尼作用逐渐增大直到等于重力。

14.(2014 浙江理综,22,10 分)小明对 2B 铅笔芯的导电性能感兴趣,于是用伏安法测量其电阻值。

(1)图 1 是部分连接好的实物电路图,请用电流表外接法完成接线并在图 1 中画出。

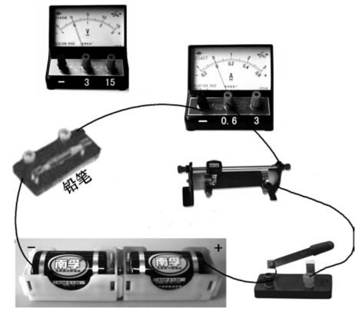


图 1

(2)小明用电流表内接法和外接法分别测量了一段 2B 铅笔芯的伏安特性,并将得到的电流、电压数据描到 U-I 图上,如图 2 所示。在图中,由电流表外接法得到的数据点是用______(填"○"或"×")表示的。

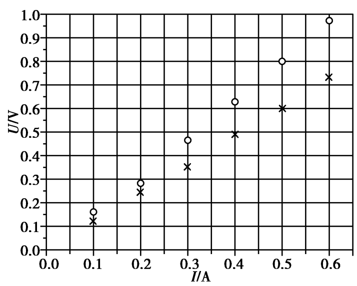
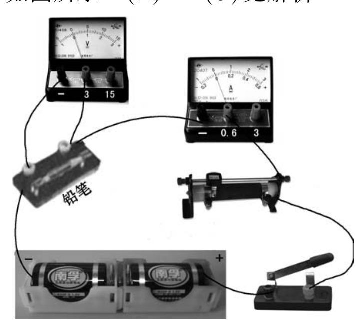


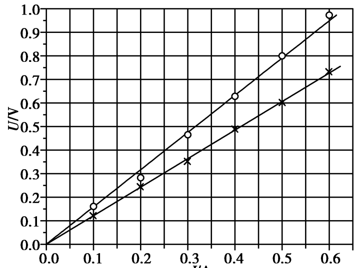
图 2

(3)请你选择一组数据点,在图 2 上用作图法作图,并求出这段铅笔芯的电阻为______Ω。

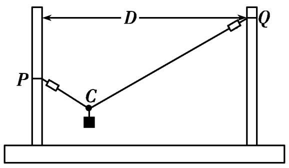
答案　(1)如图所示　(2)×　(3)见解析



解析　(1)由题图 1 知电源采用了两节干电池,则电压表应选用 3 V 量程,见答案图。(2)在内接法中由 $U=I(R+R_A)$ 知其 U-I 图线的斜率 $k_{内}=R+R_A>R$;在外接法中由 $U=\left(I-\dfrac{U}{R_V}\right)R$ 即 $U=\dfrac{RR_V}{R+R_V}I$ 知其 U-I 图线的斜率 $k_{外}=\dfrac{RR_V}{R+R_V}<R$,可见对应于外接法的图线斜率较小。(3)由 $U=IR$ 知 U-I 图线的斜率对应于 R 的测量值。选择"×"或"○"连线,求出图线的斜率即可。用"×"连线时 $R=(1.1\sim1.3)$ Ω,用"○"连线时 $R=(1.5\sim1.7)$ Ω。



15.[2014 重庆理综,6(2)]为了研究人们用绳索跨越山谷过程中绳索拉力的变化规律,同学们设计了如图甲所示的实验装置。他们将不可伸长轻绳的两端通过测力计(不计质量及长度)固定在相距为 D 的两立柱上,固定点分别为 P 和 Q,P 低于 Q,绳长为 $L(L>\overline{PQ})$。



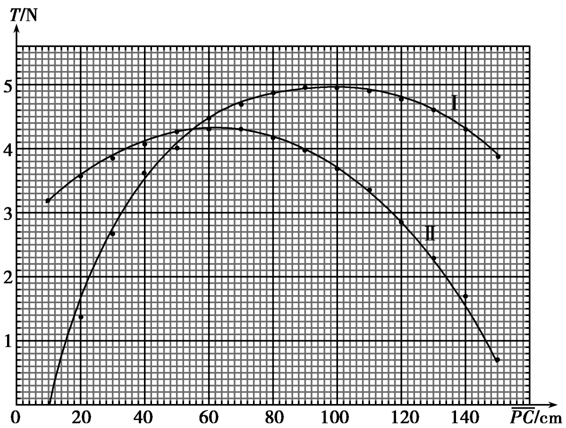
图甲

他们首先在绳上距离 P 点 10 cm 处(标记为 C)系上质量为 m 的重物(不滑动),由测力计读出绳 PC、QC 的拉力大小 T_P 和 T_Q。随后,改变重物悬挂点 C 的位置,每次将 P 到 C 点的距离增加 10 cm,并读出测力计的示数,最后得到 T_P、T_Q 与绳长 $\overline{PC}$ 的关系曲线如图乙所示。由实验可知:

①曲线Ⅱ中拉力最大时,C 与 P 点的距离为________cm,该曲线为________(选填:T_P 或 T_Q)的曲线。

②在重物从 P 移到 Q 的整个过程中,受到最大拉力的是________(选填:P 或 Q)点所在的立柱。

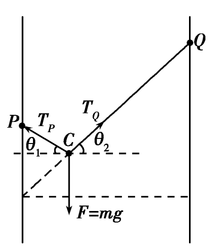
③在曲线Ⅰ、Ⅱ相交处,可读出绳的拉力 T_0=________N,它与 L、D、m 和重力加速度 g 的关系为 T_0=________。



图乙

答案 ①60(56~64 之间的值均可) T_P ②Q ③4.30(4.25~4.35 之间的值均可) $\frac{mgL\sqrt{L^2-D^2}}{2(L^2-D^2)}$

解析 ①由图乙可读出,Ⅱ中拉力最大时,C 与 P 点的距离为 60 cm。此时以 C 点为研究对象,分析其受力情况,如图所示,竖直方向 $T_P\sin\theta_1+T_Q\sin\theta_2=mg$,水平方向 $T_P\cos\theta_1=T_Q\cos\theta_2$。当 $T_P=T_Q$ 时,$\cos\theta_1=\cos\theta_2$,即 $\theta_1=\theta_2$,若 C 点左移即 $\overline{PC}$ 减小,则 θ_1 增大,$\cos\theta_1$ 减小,θ_2 减小,$\cos\theta_2$ 增大,$\frac{T_P}{T_Q}=\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}>1$,即 $T_P>T_Q$,故Ⅱ为 T_P 的曲线,Ⅰ为 T_Q 的曲线。



②由图乙可知图线Ⅰ对应的极值最大,故受到最大拉力的是 Q 点所在的立柱。

③曲线Ⅰ、Ⅱ相交处,可读出绳的拉力 T_0 为 4.30 N。

此时满足关系:$T_P=T_Q=T_0$

$T_P\sin\theta_1+T_Q\sin\theta_2=mg$

$T_P\cos\theta_1=T_Q\cos\theta_2$

$\sin\theta_2=\frac{\sqrt{L^2-D^2}}{L}$

解得:$\theta_1=\theta_2$

$T_0=\frac{mgL\sqrt{L^2-D^2}}{2(L^2-D^2)}$

16.(2017 北京理综,21,18 分)如图 1 所示,用质量为 m 的重物通过滑轮牵引小车,使它在长木板上运动,打点计时器在纸带上记录小车的运动情况。利用该装置可以完成"探究动能定理"的实验。

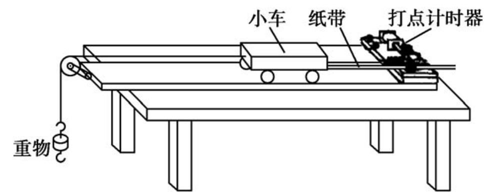


图 1

(1)打点计时器使用的电源是________(选填选项前的字母)。

A.直流电源

B.交流电源

(2)实验中,需要平衡摩擦力和其他阻力,正确操作方法是________(选填选项前的字母)。

A.把长木板右端垫高

B.改变小车的质量

在不挂重物且________(选填选项前的字母)的情况下,轻推一下小车。若小车拖着纸带做匀速运动,表明已经消除了摩擦力和其他阻力的影响。

A.计时器不打点

B.计时器打点

(3)接通电源,释放小车,打点计时器在纸带上打下一系列点,将打下的第一个点标为 O。在纸带上依次取 A、B、C……若干个计数点,已知相邻计数点间的时间间隔为 T。测得 A、B、C……各点到 O 点的距离为 x_1、x_2、x_3……,如图 2 所示。

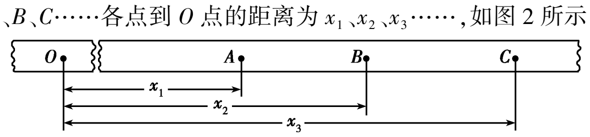


图 2

实验中,重物质量远小于小车质量,可认为小车所受的拉力大小为 mg。从打 O 点到打 B 点的过程中,拉力对小车做的功 W=________,打 B 点时小车的速度 v=________。

(4)以 v^2 为纵坐标,W 为横坐标,利用实验数据作出如图 3 所示的 v^2-W 图像。由此图像可得 v^2 随 W 变化的表达式为________。根据功与能的关系,动能的表达式中可能包含 v^2 这个因子;分析实验结果的单位关系,与图线斜率有关的物理量应是________。

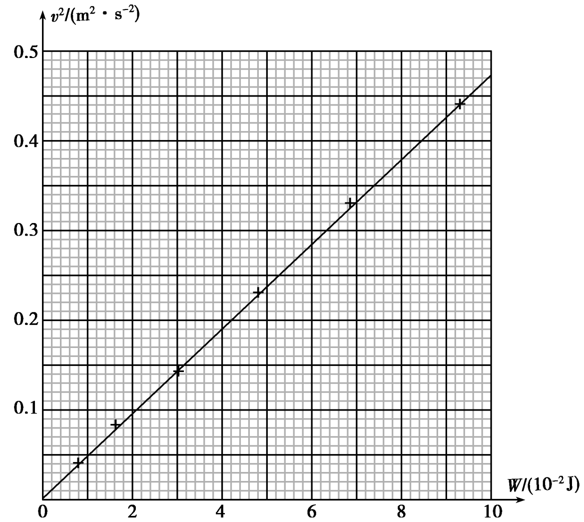


图 3

(5)假设已经完全消除了摩擦力和其他阻力的影响，若重物质量不满足远小于小车质量的条件，则从理论上分析，图4中正确反映 v^2-W 关系的是________。

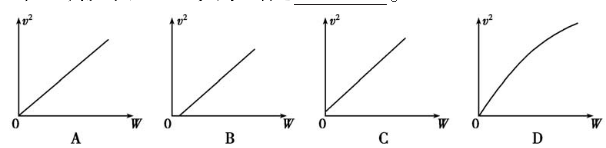


图 4

答案　(1)B　(2)A　B　(3)mgx_2　$\dfrac{x_3-x_1}{2T}$

(4)$v^2=kW$，$k=(4.5\sim5.0)$ $m^2\cdot s^{-2}\cdot J^{-1}$　质量　(5)A

解析　本题考查"探究动能定理"实验。

(1)打点计时器使用的是交流电源。

(2)把长木板右端垫高，利用小车的重力沿斜面的分力平衡摩擦力和其他阻力；在不挂重物且计时器打点的情况下，小车沿斜面能匀速运动，表明已经消除了摩擦力和其他阻力的影响。

(3)$W=Fs=mgx_2$，$v_B=\dfrac{AC}{t_{AC}}=\dfrac{x_3-x_1}{2T}$。

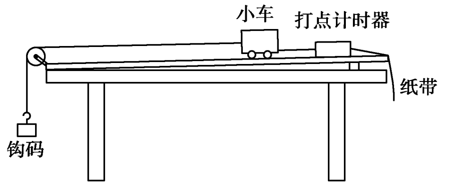
(4)由图知，图线为一条纵截距为零、斜率 $k=(4.5\sim5.0)$ $m^2\cdot s^{-2}\cdot J^{-1}$ 的直线，其函数表达式为 $v^2=kW$。

根据动能定理 $W=\dfrac{1}{2}mv^2$ 得 $v^2=\dfrac{2}{m}W$，故斜率 $k=\dfrac{2}{m}$，与质量有关。

(5)根据功能关系有 $W=\dfrac{1}{2}(M+m)v^2$，所以 $v^2=\dfrac{2}{M+m}W$，$v^2\propto W$，图 A 正确。

易错警示　该实验虽然利用"验证牛顿第二定律"的实验装置来"验证动能定理"，但不要把 m 不远小于小车质量的实验图线变化情况，类比到这个实验中而错选 D 图线。

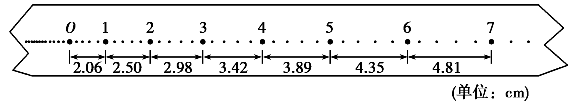
17. (2017 江苏单科，10，8 分)利用如图甲所示的实验装置探究恒力做功与物体动能变化的关系。小车的质量为 $M=200.0$ g，钩码的质量为 $m=10.0$ g，打点计时器的电源为 50 Hz 的交流电。



图甲

(1)挂钩码前，为了消除摩擦力的影响，应调节木板右侧的高度，直至向左轻推小车观察到________。

(2)挂上钩码，按实验要求打出的一条纸带如图乙所示。选择某一点为 O，依次每隔 4 个计时点取一个计数点。用刻度尺量出相邻计数点间的距离 Δx，记录在纸带上。计算打出各计数点时小车的速度 v，其中打出计数点"1"时小车的速度 $v_1=$________m/s。

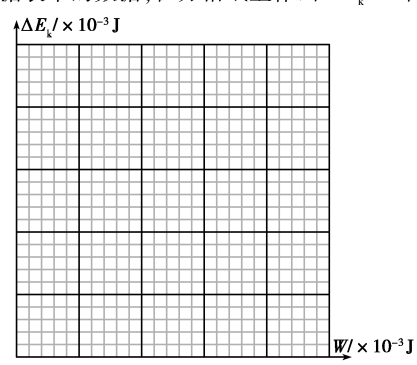


图乙

(3)将钩码的重力视为小车受到的拉力，取 $g=9.80$ m/s^2，利用 $W=mg\Delta x$ 算出拉力对小车做的功 W。利用 $E_k=\dfrac{1}{2}Mv^2$ 算出小车动能，并求出动能的变化量 ΔE_k。计算结果见下表。

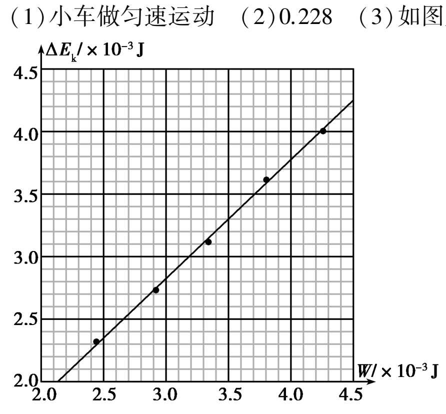
$W/\times10^{-3}$ J	2.45	2.92	3.35	3.81	4.26
$\Delta E_k/\times10^{-3}$ J	2.31	2.73	3.12	3.61	4.00

请根据表中的数据，在方格纸上作出 ΔE_k-W 图像。



(4)实验结果表明，ΔE_k 总是略小于 W。某同学猜想是由于小车所受拉力小于钩码重力造成的。用题中小车和钩码质量的数据可算出小车受到的实际拉力 $F=$________N。

答案　(1)小车做匀速运动　(2)0.228　(3)如图所示



(4)0.093

解析　本题考查恒力做功与动能变化的关系。

(1)平衡摩擦力的方法是利用小车重力沿斜面向下的分力与摩擦力相平衡，故在此状态下小车获得速度后能匀速运动。

(2)由题意知相邻计数点间时间间隔 $T=0.1$ s，由 $\bar{v}=v_{\frac{t}{2}}$ 得 $v_1=\dfrac{\Delta x_1+\Delta x_2}{2T}=\dfrac{(2.06+2.50)\times10^{-2}}{2\times0.1}$ m/s $=0.228$ m/s。

(3)首先确定标度：为充分利用方格纸，依据给定数据范围及方格纸上格数多少，确定纵坐标、横坐标皆从 2.0×10^{-3} J 开始，且每小格表示 0.1×10^{-3} J。然后描点、连线，图像见答案。

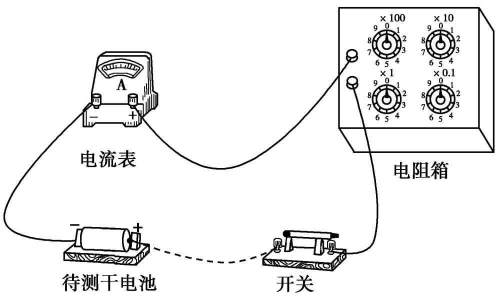
(4)对钩码有 $mg-F=ma$,对小车有 $F=Ma$,联立可得:$F=\frac{Mm}{M+m}g=\frac{0.200\times0.010}{0.200+0.010}\times9.8\ \text{N}\approx0.093\ \text{N}$。

方法指导 作图法处理实验数据

利用作图法处理实验数据的原则是使方格纸得到充分的利用,为此,坐标可以不从零开始。连线的原则是作出平滑的曲线或直线,使尽可能多的点落在所连出的图线上,不在线上的点,要使它们尽量对称地分布在线的两侧,显著偏离线的点要舍去。

18.(2018 江苏单科,10,8 分)一同学测量某干电池的电动势和内阻。

(1)如图所示是该同学正准备接入最后一根导线(图中虚线所示)时的实验电路。请指出图中在器材操作上存在的两个不妥之处。

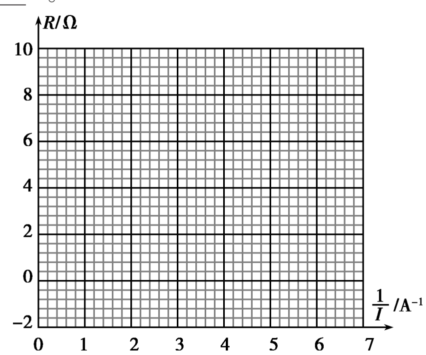


(2)实验测得的电阻箱阻值 R 和电流表示数 I,以及计算的 $\frac{1}{I}$ 数据见下表:

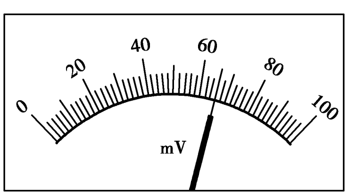
R/Ω	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0
I/A	0.15	0.17	0.19	0.22	0.26
$\frac{1}{I}/\text{A}^{-1}$	6.7	6.0	5.3	4.5	3.8

根据表中数据,在方格纸上作出 $R-\frac{1}{I}$ 关系图像。

由图像可计算出该干电池的电动势为________V;内阻为________Ω。



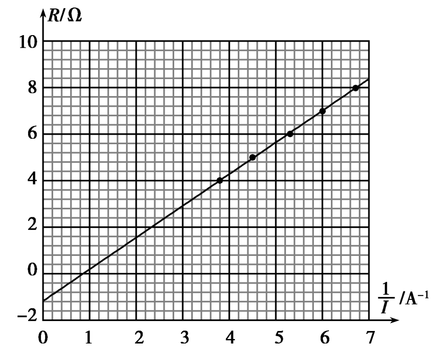
(3)为了得到更准确的测量结果,在测出上述数据后,该同学将一只量程为 100 mV 的电压表并联在电流表的两端。调节电阻箱,当电流表的示数为 0.33 A 时,电压表的指针位置如图所示,则该干电池的电动势应为________V;内阻应为________Ω。



答案 (1)①开关未断开;②电阻箱阻值为零。

(2)如图所示 1.4(1.30~1.44 都算对) 1.2(1.0~1.4 都算对)

(3)1.4[结果与(2)问第一个空格一致] 1.0[结果比(2)问第二个空格小 0.2]



解析 本题考查测量干电池的电动势和内阻。

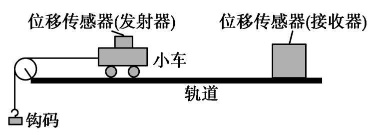
(1)在连接电路过程中,要求开关处于断开状态;在闭合开关前,要求电阻箱接入电路的电阻最大。

(2)依照表中数据,描点连线,如答案图所示。由闭合电路欧姆定律可得 $I=\frac{E}{R+r}$,整理可得 $R=E\cdot\frac{1}{I}-r$,与图像对应,则 $E=1.4\ \text{V}$,$r=1.2\ \Omega$。

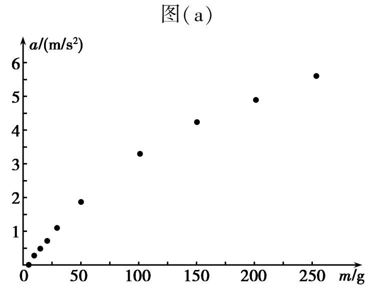
(3)由题图可知电压表的读数为 66 mV,由欧姆定律可得电流表的内阻 $r'=U/I=0.2\ \Omega$,则由闭合电路欧姆定律可得 $I=\frac{E}{R+r+r'}$,整理可得 $R=E\cdot\frac{1}{I}-(r+r')$,与图像对应,则 $E=1.4\ \text{V}$,$r=1.0\ \Omega$。

思路分析 本题是在课本实验基础上拓展出来的计算型实验题,需要利用闭合电路欧姆定律列方程求解。

19.(2014 课标Ⅰ,22,6 分,0.643)某同学利用图(a)所示实验装置及数字化信息系统获得了小车加速度 a 与钩码的质量 m 的对应关系图,如图(b)所示。实验中小车(含发射器)的质量为 200 g,实验时选择了不可伸长的轻质细绳和轻定滑轮,小车的加速度由位移传感器及与之相连的计算机得到,回答下列问题:



图(a)



图(b)

(1)根据该同学的结果,小车的加速度与钩码的质量成________(填"线性"或"非线性")关系。

(2)由图(b)可知,$a-m$ 图线不经过原点,可能的原因是__________。

(3)若利用本实验装置来验证"在小车质量不变的情况下,小车的加速度与作用力成正比"的结论,并直接以钩码所受重力 mg 作为小车受到的合外力,则实验中应采取的改进措施是______________________________。钩码的质量应满足的条件是________________。

答案　(1)非线性　(2)存在摩擦力

(3)调节轨道的倾斜度以平衡摩擦力　远小于小车的质量

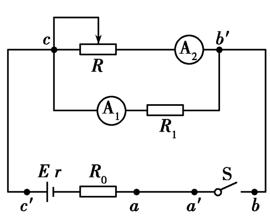
解析　(1)将图(b)中各点连线,得到的是一条曲线,故 a 与 m 的关系是非线性的。

(2)由图(b)可知,当钩码质量不为零时,在一定范围内小车加速度仍为零,即钩码对小车的拉力大于某一数值时小车才产生加速度,故可能的原因是存在摩擦力。

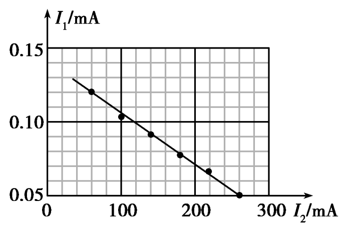
(3)若将钩码所受重力作为小车所受合力,则应满足三个条件,一是摩擦力被平衡,二是绳平行于轨道平面,此二者可保证绳对车的拉力等于车所受合力,设绳的拉力为 T,由 $mg-T=ma$、$T=Ma$ 有 $T=\frac{mM}{M+m}g=\frac{mg}{1+\frac{m}{M}}$,可见当 $m\ll M$ 时才有 $T\approx mg$,故第三个条件为 $m\ll M$。

20.[2017 天津理综,9(3)]某探究性学习小组利用如图所示的电路测量电池的电动势和内阻。其中电流表 A_1 的内阻 $r_1=1.0\ \text{k}\Omega$,电阻 $R_1=9.0\ \text{k}\Omega$,为了方便读数和作图,给电池串联一个 $R_0=3.0\ \Omega$ 的电阻。

①按图示电路进行连接后,发现 aa'、bb' 和 cc' 三条导线中,混进了一条内部断开的导线。为了确定哪一条导线内部是断开的,将电键 S 闭合,用多用电表的电压挡先测量 a、b' 间电压,读数不为零,再测量 a、a' 间电压,若读数不为零,则一定是______导线断开;若读数为零,则一定是______导线断开。



②排除故障后,该小组顺利完成实验。通过多次改变滑动变阻器触头位置,得到电流表 A_1 和 A_2 的多组 I_1、I_2 数据,作出图像如图。由 I_1-I_2 图像得到电池的电动势 $E=$______V,内阻 $r=$______Ω。



答案　①aa'　bb'　②1.4(1.36~1.44 均可)　0.5(0.4~0.6 均可)

解析　①用多用电表的电压挡测 $U_{ab'}\neq0$,说明两表笔与电源两极间为通路,问题出在 a、b' 之间的含有电键的电路部分;若 $U_{aa'}\neq0$,说明 aa' 导线断路,若 $U_{aa'}=0$,说明导线 bb' 断开。

②由于 $I_2\gg I_1$,故可将 I_2 视为干路电流,则有

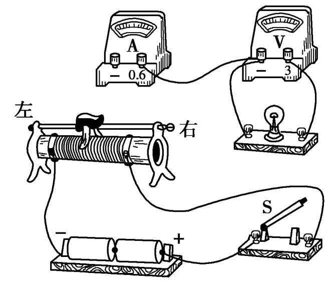
$I_1(R_1+r_1)=E-I_2(r+R_0)$

则 $I_1=\frac{E}{R_1+r_1}-\frac{r+R_0}{R_1+r_1}\cdot I_2$,故从图线的截距和斜率可求得 $E=1.4\ \text{V}$,$r=0.5\ \Omega$。

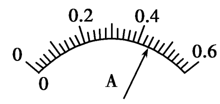
解题指导　①在用多用电表电压挡排查电路故障时,读数不为零,说明两表笔与电源之间的线路连通,读数反映的是电源两极电压(在没有其他支路连通时),断点在多用电表两表笔之间的电路。

②本实验中,由于 I_1 与 I_2 的读数数量级相差巨大,故可忽略 I_1,把 I_2 视为干路电流。

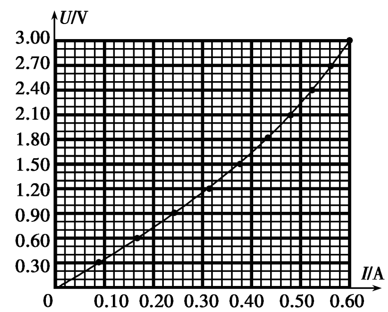
21.[2015 福建理综,19(2),12 分]某学习小组探究一小电珠在不同电压下的电功率大小,实验器材如图甲所示,现已完成部分导线的连接。



甲



乙



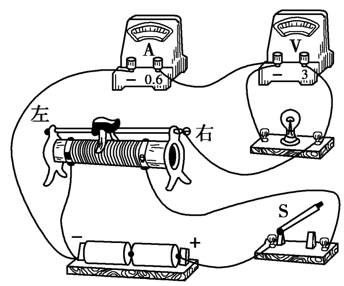
丙

①实验要求滑动变阻器的滑片从左到右移动过程中,电流表的示数从零开始逐渐增大,请按此要求用笔画线代替导线在图甲实物接线图中完成余下导线的连接;

②某次测量,电流表指针偏转如图乙所示,则电流表的示数为______A;

③该小组描绘出的伏安特性曲线如图丙所示,根据图线判断,将______只相同的小电珠并联后,直接与电动势为 3 V、内阻为 1 Ω 的电源组成闭合回路,可使小电珠的总功率最大,其总功率的值约为______W(保留两位小数)。

答案　①连线如图　②0.44　③4　2.22~2.28



解析　①利用分压法连接电路,注意使电流从电表的正接线柱流入,从负接线柱流出。

②电流表示数为(0.4+0.02×2) A=0.44 A

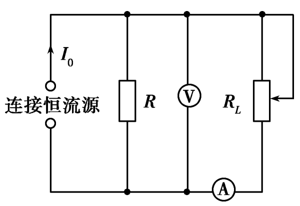
③小电珠总功率最大,即电源输出功率最大,$P_{出max}=\frac{E^2}{4r}=2.25\ \text{W}$

又因为 $P_出=EI-I^2r$,所以 $2.25=3I-I^2$

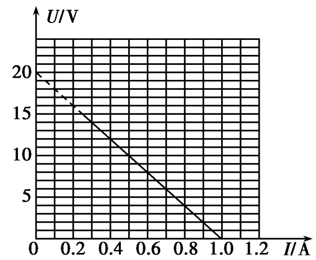
解得 $I=1.5\ \text{A}$

小电珠两端电压 $U=E-Ir=1.5\ \text{V}$,由图丙知 $U=1.5\ \text{V}$ 时,流过小电珠的电流为 $I'=0.379\ \text{A}$,所以并联的小电珠个数 $N=\frac{I}{I'}\approx4$ 时,小电珠总功率最大。此时 $E=U+4Ir$,代入数据得 $U=3-4I$,在题中 $U-I$ 图像中作出其图线,将两图线交点坐标值代入 $P_出=4UI$ 得小电珠的最大总功率。

22.(2015 山东理综,22,8 分)如图甲所示的电路中,恒流源可为电路提供恒定电流 I_0,R 为定值电阻,电流表、电压表均可视为理想电表。某同学利用该电路研究滑动变阻器 R_L 消耗的电功率。改变 R_L 的阻值,记录多组电流、电压的数值,得到如图乙所示的 U-I 关系图线。



图甲



图乙

回答下列问题:

(1)滑动触头向下移动时,电压表示数________(填“增大”或“减小”)。

(2)I_0=________A。

(3)R_L 消耗的最大功率为________W(保留一位有效数字)。

答案 (1)减小 (2)1.00(0.98、0.99、1.01 均正确) (3)5

解析 (1)滑动触头下移时,R_L 减小,则 R_L 分流增大,R 的分流则减小,电压表示数 $U=I_R\cdot R$,故 U 减小。

(2)当滑动触头移至最下端时,$R_L=0$,此时 $I_0=I_A=1.00$ A。

(3)由 U-I 图像可得:$U=20-20I$,R_L 消耗的功率 $P=UI=-20I^2+20I$,可见,当 $I=0.5$ A 时,P 有最大值,$P_m=5$ W。

评析 本题打破常规,以恒流源为研究问题的前提,如果死记硬背公式则会陷入困境,如果理解了物理原理,则简单易做,这有利于引导学生树立正确的学习观念。

23.[2015 天津理综,9(3)]用电流表和电压表测定由三节干电池串联组成的电池组(电动势约 4.5 V,内电阻约 1 Ω)的电动势和内电阻,除待测电池组、电键、导线外,还有下列器材供选用:

A.电流表:量程 0.6 A,内电阻约 1 Ω

B.电流表:量程 3 A,内电阻约 0.2 Ω

C.电压表:量程 3 V,内电阻约 30 kΩ

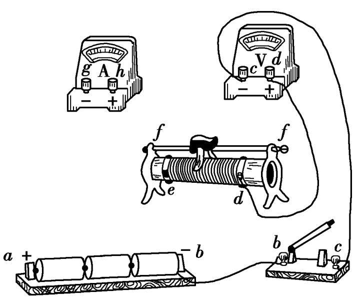
D.电压表:量程 6 V,内电阻约 60 kΩ

E.滑动变阻器:0~1 000 Ω,额定电流 0.5 A

F.滑动变阻器:0~20 Ω,额定电流 2 A

①为了使测量结果尽量准确,电流表应选用________,电压表应选用________,滑动变阻器应选用______(均填仪器的字母代号)。

②如图为正确选择仪器后,连好的部分电路。为了使测量误差尽可能小,还需在电路中用导线将________和________相连、________和________相连、________和________相连(均填仪器上接线柱的字母代号)。

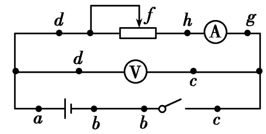


③实验时发现电流表坏了,于是不再使用电流表,剩余仪器中仅用电阻箱替换掉滑动变阻器,重新连接电路,仍能完成实验。实验中读出几组电阻箱的阻值 R 和对应电压表的示数 U。用图像法处理采集到的数据,为在直角坐标系中得到的函数图像是一条直线,则可以________为纵坐标,以______为横坐标。

答案 ①A D F ②a d c g f h ③见解析

解析 ①为了防止电源急剧放电时产生极化现象而引起电动势的下降,一般在测电源电动势与内电阻时,电源的放电电流控制在 0.5 A 以内,故电流表应选用 A;因三节干电池的总电动势约为 4.5 V,故选用量程是 6 V 的电压表 D;总阻值为 20 Ω的滑动变阻器 F 可使电路中的最小电流约为 $I_{min}=\frac{E}{R_{max}}=0.225$ A,而滑动变阻器 E 阻值太大,故滑动变阻器应选用 F。

②因电流表内阻 $r_A\approx1$ Ω 与电源内阻大致相等且未知,故需采用电流表外接法,以避免电流表内阻引起的系统误差,原理图如图,



故需将 a 与 d、c 与 g、f 与 h 相连。

③用伏阻法测电源电动势与内电阻时,由闭合电路欧姆定律有 $E=U+\frac{U}{R}r$,由此可得 $\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}$(或 $\frac{1}{R}=\frac{E}{r}\cdot\frac{1}{U}-\frac{1}{r}$)、$U=E-r\cdot\frac{U}{R}$(或 $\frac{U}{R}=\frac{E}{r}-\frac{1}{r}U$)、$\frac{R}{U}=\frac{1}{E}\cdot R+\frac{r}{E}$(或 $R=E\cdot\frac{R}{U}-r$),故可以得到 $\frac{1}{U}$-$\frac{1}{R}$、U-$\frac{U}{R}$、$\frac{R}{U}$-R 等线性图线。

评析 本题通过测电源电动势与内电阻的实验考查了器材选取、电路连接、数据处理等,试题难度中等。

24.(2016 浙江理综,22,10 分)某同学用伏安法测量导体的电阻,现有量程为 3 V、内阻约为 3 kΩ 的电压表和量程为0.6 A、内阻约为 0.1 Ω 的电流表。采用分压电路接线,图 1 是实物的部分连线图,待测电阻为图 2 中的 R_1,其阻值约为 5 Ω。

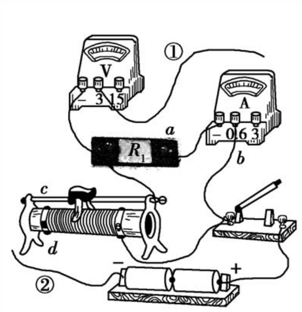


图1

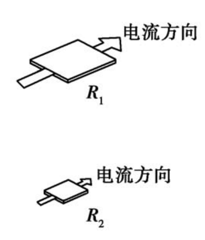


图2

(1)测 R_1 阻值的最优连接方式为导线①连接________(填 a 或 b)、导线②连接________(填 c 或 d)。

(2)正确接线测得实验数据如表,用作图法求得 R_1 的阻值为________Ω。

U/V	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40
I/A	0.09	0.19	0.27	0.35	0.44	0.53

(3)已知图 2 中 R_2 与 R_1 是材料相同、厚度相等、表面为正方形的两导体,R_2 的边长是 R_1 的 $\frac{1}{10}$,若测 R_2 的阻值,则最优的连线应选________(填选项)。

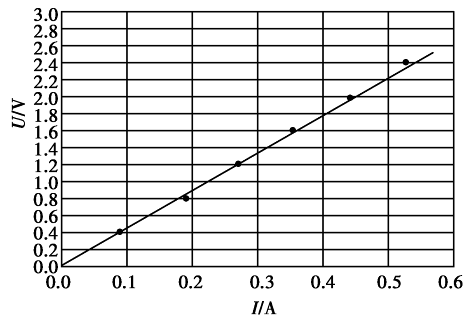
A.①连接 a,②连接 c　　B.①连接 a,②连接 d

C.①连接 b,②连接 c　　D.①连接 b,②连接 d

答案　(1)a　d　(2)图见解析　4.4~4.7　(3)B

解析　(1)待测电阻 $R_1\approx5\ \Omega$、$R_V\approx3\ k\Omega$、$R_A\approx0.1\ \Omega$,故 R_1 属于小电阻,用电流表外接法,因此导线①应连接 a,变阻器采用分压接法,因此导线②应连接 d。

(2)R_1 的 U-I 图线如图所示



其阻值 $R_1=\frac{U}{I}=\frac{2.2}{0.5}\ \Omega=4.4\ \Omega$

(3)设电阻的厚度为 d,表面为正方形且长度为 l

由电阻定律 $R=\frac{\rho l}{S}$ 和 $S=ld$ 得 $R=\frac{\rho l}{ld}=\frac{\rho}{d}$

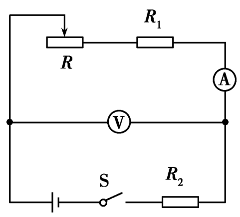
故 $R_2=R_1$,因此连接方式与(1)相同,B 选项正确。

解题指导　(1)根据 R_1、R_A、R_V 的大约值,可以确定采用电流表外接法;

(2)由 U-I 图线的斜率可求出 R_1 的测量值;

(3)由电阻定律确定电阻的长度为电流流经的长度即正方形表面的边长,横截面积为正方形表面的边长与厚度的乘积,将数据代入公式得出两电阻的大小关系为正确解答此题的关键。

25.(2016 四川理综,8Ⅱ,11 分)用如图所示电路测量电源的电动势和内阻。实验器材:待测电源(电动势约 3 V,内阻约 2 Ω),保护电阻 R_1(阻值 10 Ω)和 R_2(阻值 5 Ω),滑动变阻器 R,电流表 A,电压表 V,开关 S,导线若干。



待测电源

实验主要步骤:

(ⅰ)将滑动变阻器接入电路的阻值调到最大,闭合开关;

(ⅱ)逐渐减小滑动变阻器接入电路的阻值,记下电压表的示数 U 和相应电流表的示数 I;

(ⅲ)以 U 为纵坐标,I 为横坐标,作 U-I 图线(U、I 都用国际单位);

(ⅳ)求出 U-I 图线斜率的绝对值 k 和在横轴上的截距 a。

回答下列问题:

(1)电压表最好选用______;电流表最好选用______。

A.电压表(0~3 V,内阻约 15 kΩ)

B.电压表(0~3 V,内阻约 3 kΩ)

C.电流表(0~200 mA,内阻约 2 Ω)

D.电流表(0~30 mA,内阻约 2 Ω)

(2)滑动变阻器的滑片从左向右滑动,发现电压表示数增大。两导线与滑动变阻器接线柱连接情况是________。

A.两导线接在滑动变阻器电阻丝两端的接线柱

B.两导线接在滑动变阻器金属杆两端的接线柱

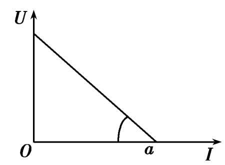
C.一条导线接在滑动变阻器金属杆左端接线柱,另一条导线接在电阻丝左端接线柱

D.一条导线接在滑动变阻器金属杆右端接线柱,另一条导线接在电阻丝右端接线柱

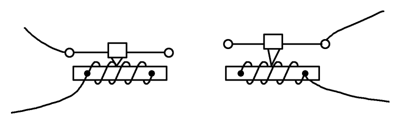
(3)选用 k、a、R_1 和 R_2 表示待测电源的电动势 E 和内阻 r 的表达式 $E=$________,$r=$________,代入数值可得 E 和 r 的测量值。

答案　(1)A　C　(2)C　(3)ak　$k-R_2$

解析　(1)电压表测量路端电压,测量中为了减小误差,通过电压表的电流越小越好,在量程一样(0~3 V)的情况下,其内阻越大越好,故电压表应选 A;电路中的电流最大值大约为 $\frac{3\ V}{(10+5)\ \Omega}=200\ mA$,故电流表应选 C。(2)滑片从左向右滑动时,电压表示数增大,说明滑片滑动时滑动变阻器接入电路的电阻变大,只有 C 项的接法符合上述情形。(3)U-I 图线如图所示,斜率的绝对值 $k=r+R_2$,故 $r=k-R_2$。横轴截距 $a=\frac{E}{r+R_2}$,则 $E=ak$。



深度解析　疑难突破:在下图中,滑片从左向右滑动时连入电路的电阻哪个会变大?答案为(a)。

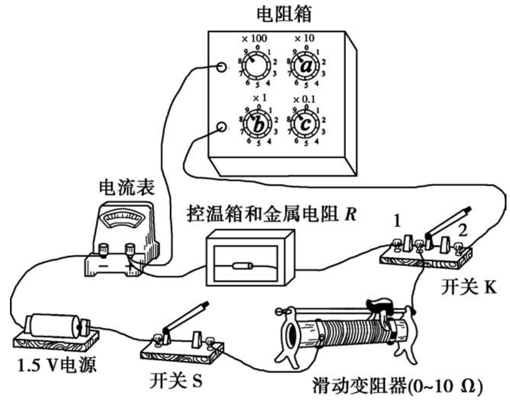


(a)　　(b)

评析　此题考查用伏安法测量电源的电动势和内阻,但测量中多用了两个保护电阻,在解答中需注意这一变化,此题难度中等。

26.(2016 江苏单科,10,8 分)小明同学通过实验探究某一金属电阻的阻值 R 随温度 t 的变化关系。已知该金属电阻在常温下的阻值约 10 Ω,R 随 t 的升高而增大。实验电路如图所示,控温箱用以调节金属电阻的温度。

实验时闭合 S,先将开关 K 与 1 端闭合,调节金属电阻的温度,分别记下温度 $t_1,t_2,\cdots$ 和电流表的相应示数 $I_1,I_2,\cdots$。然后将开关 K 与 2 端闭合,调节电阻箱使电流表的示数再次为 $I_1,I_2,\cdots$,分别记下电阻箱相应的示数 $R_1,R_2,\cdots$。



(1)有以下两种电流表,实验电路中应选用________。

A.量程 0~100 mA,内阻约 2 Ω

B.量程 0~0.6 A,内阻可忽略

(2)实验过程中,要将电阻箱的阻值由 9.9 Ω 调节至 10.0 Ω,需旋转图中电阻箱的旋钮“a”、“b”、“c”,正确的操作顺序是________。

①将旋钮 a 由“0”旋转至“1”

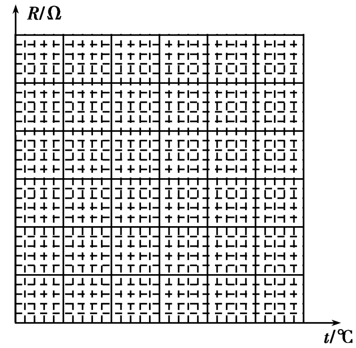
②将旋钮 b 由“9”旋转至“0”

③将旋钮 c 由“9”旋转至“0”

(3)实验记录的 t 和 R 的数据见下表:

温度 t(℃)	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0
阻值 R(Ω)	9.6	10.4	11.1	12.1	12.8

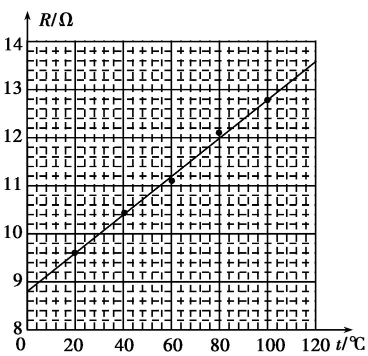
请根据表中数据,在方格纸上作出 R-t 图线。



由图线求得 R 随 t 的变化关系为 R=________Ω。

答案 (1)A (2)①②③(或①③②)

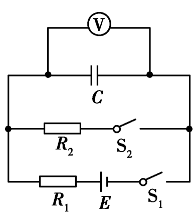
(3)见下图 $0.04t+8.8$($0.04t+8.6$~$0.04t+9.0$ 都算对)



解析 此电源电动势为 1.5 V,回路总电阻最小约 10 Ω,所以最大电流约 150 mA,若用量程为 0~0.6 A 的电流表测量,则电流表指针偏转不到满刻度的三分之一,测量误差偏大,且电路中还有滑动变阻器可用于调节,所以应选量程为 0~100 mA的电流表。调节电阻箱的阻值时应保证电路安全,所以必须先将旋钮 a 由“0”旋转至“1”。作图时应选择适合的标度和始点,让图线尽可能展开,方便找出规律。

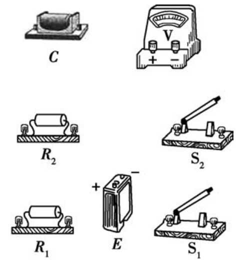
审题指导 此题考查替代法测电阻、电路安全性问题和图像法处理数据三个问题,作图时要符合作图的常规要求:严谨精细。

27.(2015 海南单科,12,9 分)某同学利用图(a)所示电路测量电容器充电时两极板间的电压随时间的变化。实验中使用的器材为:电池 E(内阻很小)、开关 S_1 和 S_2、电容器 C(约 100 μF)、电阻 R_1(约 200 kΩ)、电阻 R_2(1 kΩ)、电压表Ⓥ(量程6 V)、秒表、导线若干。

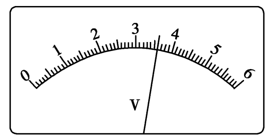


图(a)

(1)按图(a)所示的电路原理图将图(b)中实物图连线。



图(b)

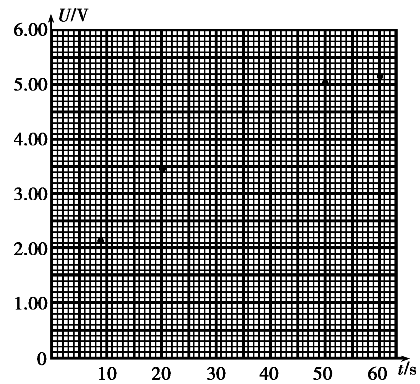


图(c)

(2)先闭合开关 S_2,再断开开关 S_2;闭合开关 S_1,同时按下秒表开始计时。若某时刻电压表的示数如图(c)所示,电压表的读数为________V(保留 2 位小数)。

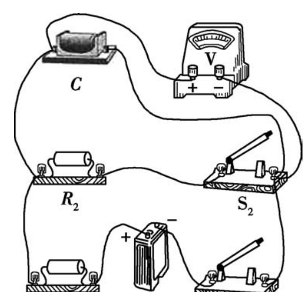
(3)该同学每隔 10 s 记录一次电压表的读数 U,记录的数据如下表所示。在坐标纸上绘出 U-t 图线。已知只有一个数据点误差较大,该数据点对应的表中的时间是________s。

时间 t/s	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
电压 U/V	2.14	3.45	4.23	4.51	5.00	5.18

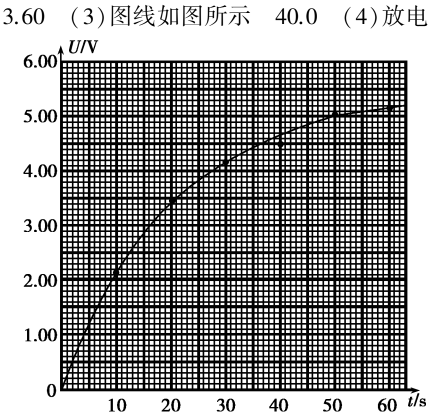


(4)电路中 C、R_2 和 S_2 构成的回路的作用是________。

答案 (1)如图所示



(2)3.60 (3)图线如图所示 40.0 (4)放电



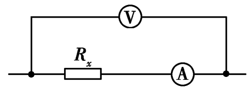
解析 (1)图见答案。

(2)由图(c)知电压表的分度值为 0.1 V,读数时应估读到分度值的下一位即 0.01 V,故测量结果为 3.60 V。

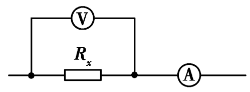
（3）将表中各数据在坐标系中描点连线如答图所示，由图可知除 $t=40.0$ s 的数据外其他各点基本在同一平滑曲线上，故误差较大的数据点只能是 $t=40.0$ s 对应的点。

（4）因在 S_1 闭合前进行了闭合 S_2 再断开 S_2 的操作，其目的是实验前使电容器两极板上的电荷充分中和，对电容器的残存电荷进行放电。

28.（2014 课标Ⅱ，22，6 分）在伏安法测电阻的实验中，待测电阻 R_x 约为 200 Ω，电压表Ⓥ的内阻约为2 kΩ，电流表Ⓐ的内阻约为 10 Ω，测量电路中电流表的连接方式如图（a）或图（b）所示，结果由公式 $R_x=\frac{U}{I}$计算得出，式中 U 与 I 分别为电压表和电流表的示数。若将图（a）和图（b）中电路测得的电阻值分别记为 R_{x1} 和 R_{x2}，则______（填“R_{x1}”或“R_{x2}”）更接近待测电阻的真实值，且测量值 R_{x1} ______（填“大于”、“等于”或“小于”）真实值，测量值R_{x2}______（填“大于”、“等于”或“小于”）真实值。



图(a)

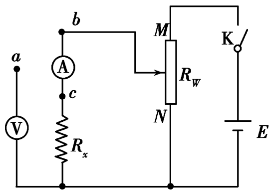


图(b)

答案　R_{x1}　大于　小于

解析　$\frac{R_x}{R_A}=20$，$\frac{R_V}{R_x}=10$，因此 R_x 属于大电阻，用电流表内接法时测量值更接近真实值，即 R_{x1} 更接近真实值；因 $R_{x1}=\frac{U}{I}=R_x+R_A$，故 $R_{x1}>R_x$，$R_{x2}=\frac{U}{I}=R_{并}$（即 R_x 与 R_V 的并联值），故$R_{x2}<R_x$。

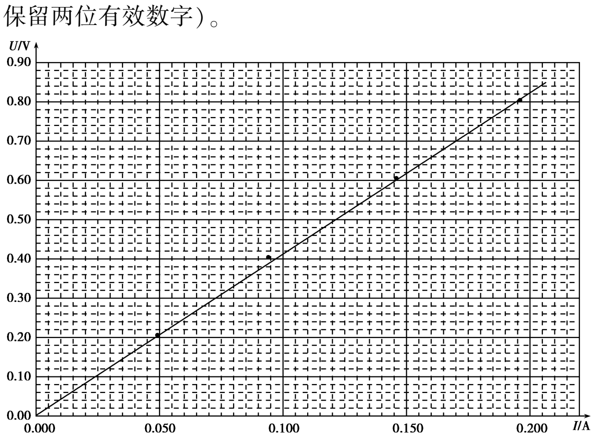
29.［2015 重庆理综，6（2）］同学们测量某电阻丝的电阻 R_x，所用电流表的内阻与 R_x 相当，电压表可视为理想电压表。



图甲

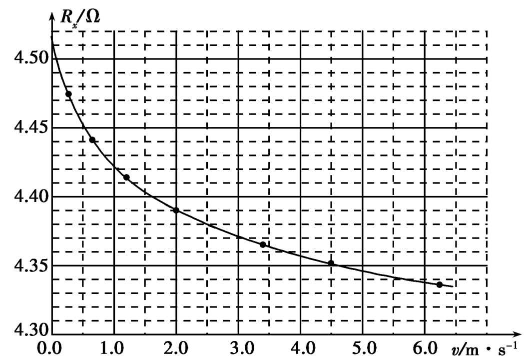
①若使用图甲所示电路图进行实验，要使得 R_x 的测量值更接近真实值，电压表的 a 端应连接到电路的______点（选填“b”或“c”）。

②测得电阻丝的 $U-I$ 图如图乙所示，则 R_x 为______Ω（保留两位有效数字）。



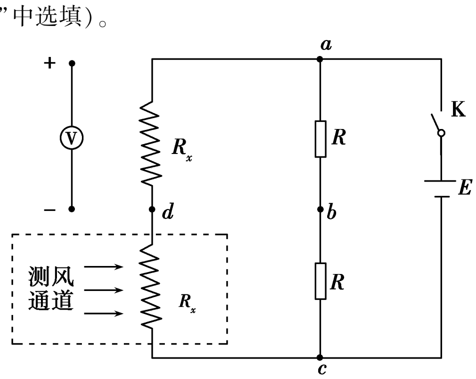
图乙

③实验中，随电压进一步增加电阻丝逐渐进入炽热状态。某同学发现对炽热电阻丝吹气，其阻值会变化。他们对此现象进行探究，在控制电阻丝两端的电压为 10 V 的条件下，得到电阻丝的电阻 R_x 随风速 v（用风速计测）的变化关系如图丙所示。由图可知当风速增加时，R_x 会______（选填“增大”或“减小”）。在风速增加过程中，为保持电阻丝两端电压为 10 V，需要将滑动变阻器 R_W 的滑片向______端调节（选填“M”或“N”）。



图丙

④为了通过电压表的示数来显示风速，同学们设计了如图丁所示的电路。其中 R 为两只阻值相同的电阻，R_x 为两根相同的电阻丝，一根置于气流中，另一根不受气流影响，Ⓥ为待接入的理想电压表。如果要求在测量中，风速从零开始增加，电压表的示数也从零开始增加，则电压表的“+”端和“−”端应分别连接到电路中的______点和______点（在“a”“b”“c”“d”中选填）。



图丁

答案　①c　②4.1（4.0~4.2 均可）　③减小　M　④b　d

解析　①因为电流表的内阻与 R_x 相当，而电压表可视为理想电压表，所以应采用电流表外接法，即 a 端应与 c 点连接。

②$U-I$ 图线的斜率大小等于 R_x，由图像可求得 $R_x=4.1$ Ω。

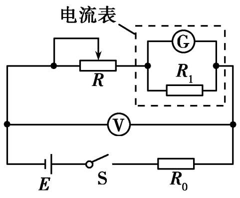
③由 R_x-v 图像可明显看出，v 越大 R_x 越小。当风速 v 增大时，将 R_W 的滑片向 M 端调节，即可使 R_x 两端的电压保持 10 V不变。

④当 $v=0$ 时，b、d 两点电压为零，当 v 增大时，下边的 R_x 减小，该支路分流增大，$U_{ad}>U_{ab}$，即 $\varphi_b>\varphi_d$，故电压表的“+”端应该接在 b 点，“−”端应该接在 d 点。

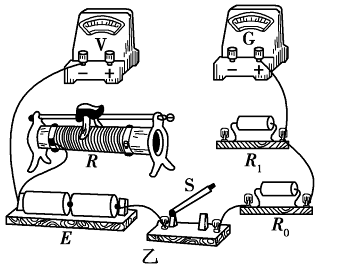
30.［2014 福建理综，19（2），12 分］某研究性学习小组利用伏安法测定某一电池组的电动势和内阻，实验原理如图甲所示，其中，虚线框内为用灵敏电流计Ⓖ改装的电流表Ⓐ，Ⓥ为标准电压表，E 为待测电池组，S 为开关，R 为滑动变阻器，R_0 是标称值为 4.0 Ω 的定值电阻。

①已知灵敏电流计Ⓖ的满偏电流 $I_g=100$ μA、内阻 $r_g=2.0$ kΩ，若要改装后的电流表满偏电流为200 mA，应并联一只________Ω（保留一位小数）的定值电阻 R_1；

②根据图甲，用笔画线代替导线将图乙连接成完整电路；



甲



乙

③某次实验的数据如下表所示:

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8
电压表Ⓥ读数 U/V	5.26	5.16	5.04	4.94	4.83	4.71	4.59	4.46
改装表Ⓐ读数 I/mA	20	40	60	80	100	120	140	160

该小组借鉴"研究匀变速直线运动"实验中计算加速度的方法(逐差法),计算出电池组的内阻 r=________Ω(保留两位小数);为减小偶然误差,逐差法在数据处理方面体现出的主要优点是________________________________。

④该小组在前面实验的基础上,为探究图甲电路中各元器件的实际阻值对测量结果的影响,用一已知电动势和内阻的标准电池组,通过上述方法多次测量后发现:电动势的测量值与已知值几乎相同,但内阻的测量值总是偏大。若测量过程无误,则内阻测量值总是偏大的原因是________。(填选项前的字母)

A.电压表内阻的影响

B.滑动变阻器的最大阻值偏小

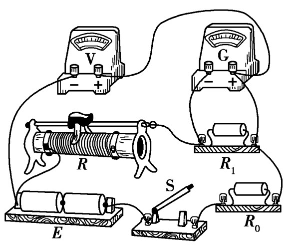
C.R_1 的实际阻值比计算值偏小

D.R_0 的实际阻值比标称值偏大

答案 ①1.0

②如图

③1.66 充分利用已测得的数据 ④CD



解析 ①$I_g r_g=(I-I_g)R_1$,解得 $R_1=1.0\ \Omega$。

②参见答案。

③$r'=\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta I}\right|$,$r_1'=\dfrac{U_1-U_5}{I_5-I_1}$,$r_2'=\dfrac{U_2-U_6}{I_6-I_2}$,$r_3'=\dfrac{U_3-U_7}{I_7-I_3}$

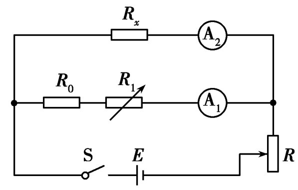
$r_4'=\dfrac{U_4-U_8}{I_8-I_4}$,$I_5-I_1=I_6-I_2=I_7-I_3=I_8-I_4=80$ mA

$\bar{r}=\bar{r}'-R_0=\dfrac{r_1'+r_2'+r_3'+r_4'}{4}-R_0=$

$\dfrac{U_1+U_2+U_3+U_4-U_5-U_6-U_7-U_8}{4\times0.08\ \text{A}}-4\ \Omega=1.66\ \Omega$

④电压表内阻的影响会造成 E 和 r 的测量值均偏小,滑动变阻器对测量没有影响,R_1 的值偏小,Ⓐ表测量值偏小,r' 测量值偏大,$r=r'-R_0$,R_0 偏小,r 偏大。

31.[2014四川理综,8(2),11分]如图是测量阻值约几十欧的未知电阻 R_x 的原理图,图中 R_0 是保护电阻(10 Ω),R_1 是电阻箱(0~99.9 Ω),R 是滑动变阻器,A_1 和 A_2 是电流表,E 是电源(电动势10 V,内阻很小)。



在保证安全和满足要求的情况下,使测量范围尽可能大。实验具体步骤如下:

(ⅰ)连接好电路,将滑动变阻器 R 调到最大;

(ⅱ)闭合S,从最大值开始调节电阻箱 R_1,先调 R_1 为适当值,再调节滑动变阻器 R,使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A,记下此时电阻箱的阻值 R_1 和 A_2 的示数 I_2;

(ⅲ)重复步骤(ⅱ),再测量6组 R_1 和 I_2 值;

(ⅳ)将实验测得的7组数据在坐标纸上描点。

根据实验回答以下问题:

①现有四只供选用的电流表:

A.电流表(0~3 mA,内阻为2.0 Ω)

B.电流表(0~3 mA,内阻未知)

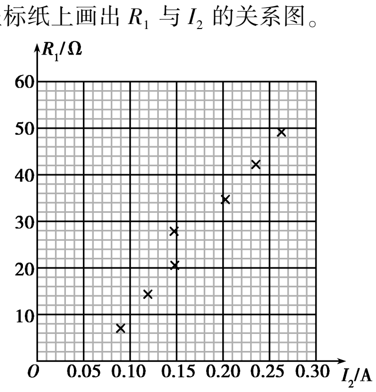
C.电流表(0~0.3 A,内阻为5.0 Ω)

D.电流表(0~0.3 A,内阻未知)

A_1 应选用________,A_2 应选用________。

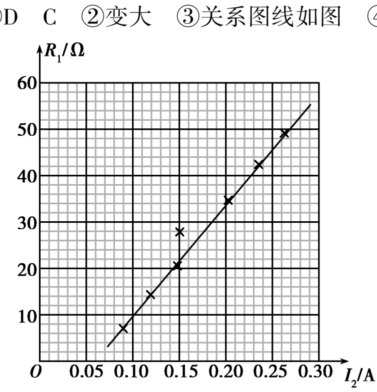
②测得一组 R_1 和 I_2 值后,调整电阻箱 R_1,使其阻值变小,要使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A,应让滑动变阻器 R 接入电路的阻值________(选填"不变"、"变大"或"变小")。

③在坐标纸上画出 R_1 与 I_2 的关系图。



④根据以上实验得出 R_x=________Ω。

答案 ①D C ②变大 ③关系图线如图 ④31



解析 ①由电路图可知 $I_1(R_0+R_1+R_{A1})=I_2(R_x+R_{A2})$,即 $R_1=\dfrac{R_x+R_{A2}}{I_1}I_2-(R_0+R_{A1})$,在 $I_1=0.15$ A 保持不变时 R_1-I_2 图线是一条直线,当由其斜率 $k=\dfrac{R_x+R_{A2}}{I_1}$求 R_x 时 R_{A2}必须是已知的。因两支路的阻值在同一数量级,则两支路中电流亦必在同一数量级,再结合 $I_1=0.15$ A,可知 A_1 只能选用D,A_2 只能选用C。②要保持 $I_1=0.15$ A 不变,当 R_1 阻值减小时需减小并联支路两端的电压,则 A_2 示数减小,即总电流减小,而并联

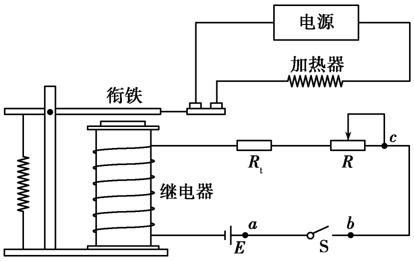
支路总电阻变小,则需增大滑动变阻器接入电路中的阻值。③图见答案。④由图线可求得斜率$k=240\ \Omega/A$。结合 $k=\frac{R_x+R_{A2}}{I_1}$得 $R_x=kI_1-R_{A2}=31\ \Omega$。

32.(2017 江苏单科,11,10 分)某同学通过实验制作一个简易的温控装置,实验原理电路图如图甲所示,继电器与热敏电阻 R_t、滑动变阻器 R 串联接在电源 E 两端,当继电器的电流超过 15 mA 时,衔铁被吸合,加热器停止加热,实现温控。继电器的电阻约 20 Ω,热敏电阻的阻值 R_t 与温度 t 的关系如下表所示。

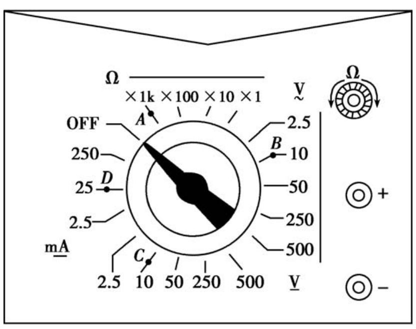
t/℃	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0
R_t/Ω	199.5	145.4	108.1	81.8	62.9	49.1

(1)提供的实验器材有:电源 E_1(3 V,内阻不计)、电源 E_2(6 V,内阻不计)、滑动变阻器 R_1(0~200 Ω)、滑动变阻器 R_2(0~500 Ω)、热敏电阻 R_t、继电器、电阻箱(0~999.9 Ω)、开关 S、导线若干。

为使该装置实现对 30~80 ℃之间任一温度的控制,电源 E 应选用________(选填"E_1"或"E_2"),滑动变阻器 R 应选用________(选填"R_1"或"R_2")。



图甲



图乙

(2)实验发现电路不工作。某同学为排查电路故障,用多用电表测量各接点间的电压,则应将如图乙所示的选择开关旋至________(选填"A"、"B"、"C"或"D")。

(3)合上开关 S,用调节好的多用电表进行排查。在图乙中,若只有 b、c 间断路,则应发现表笔接入 a、b 时指针______(选填"偏转"或"不偏转"),接入 a、c 时指针________(选填"偏转"或"不偏转")。

(4)排除故障后,欲使衔铁在热敏电阻为 50 ℃时被吸合,下列操作步骤的正确顺序是________。(填写各步骤前的序号)

①将热敏电阻接入电路

②观察到继电器的衔铁被吸合

③断开开关,将电阻箱从电路中移除

④合上开关,调节滑动变阻器的阻值

⑤断开开关,用电阻箱替换热敏电阻,将阻值调至108.1 Ω

答案　(1)E_2　R_2　(2)C　(3)不偏转　偏转

(4)⑤④②③①

解析　本题考查器材选择,故障检测,实验操作。(1)因通过继电器的电流超过 15 mA 时加热器停止加热,为使该装置实现对 30~80 ℃之间任一温度的控制,要求电路在 30~80 ℃之间的任一温度下的电流能通过调节达到 15 mA。当控制到 30 ℃时,电路的最小阻值为 $R_{min}=199.5\ \Omega+20\ \Omega=219.5\ \Omega$,要使电流达到 15 mA,则所需电源电动势至少为 $E_{min}=IR_{min}=3.29$ V,故电源只能选用电动势为 6 V 的 E_2。为使温度控制在 80 ℃,则在6 V电源下电路中的电流能达到 15 mA,故此时滑动变阻器接入电路中的阻值为 $R=\frac{E_2}{I}-(R_t+R_{继})=\frac{6}{0.015}\ \Omega-49.1\ \Omega-20\ \Omega=330.9\ \Omega$,故滑动变阻器应选用 R_2。

(2)由于是用多用电表测直流电压,且电源电动势为 6 V,故应选择直流电压 10 V 挡。

(3)若只有 b、c 间断路,电路中无电流,a、b 间电压为 0,a、c 间电压等于电源电压,故表笔接入 a、b 时指针不偏转,接入 a、c 时指针偏转,且示数等于电源电动势。

(4)欲使衔铁在 50 ℃时被吸合,则要求温度达到 50 ℃时电路中电流达到 15 mA,而此时热敏电阻的阻值为 108.1 Ω。为确定滑动变阻器应接入电路中的阻值,先将电阻箱调到108.1 Ω并替代热敏电阻接入电路,调节滑动变阻器使衔铁恰好被吸合,然后再保持滑动变阻器滑片位置不动,将热敏电阻再替换回电阻箱即可,故合理的顺序应为⑤④②③①。

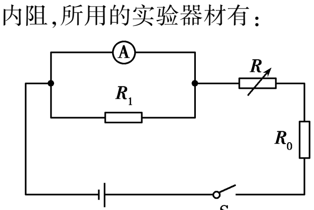
方法技巧　故障检测方法

(1)利用电压表:当电路中只有一处发生断路时,断点在电表两接线柱之外时电压表示数为 0,断点在两接线柱之间时电压表示数等于电源两端电压。当电路中只有一处发生短路时,短路处在电表两接线柱之外,电表示数变大,否则示数变小。

(2)利用电流表:当将电流表串联接入电路时,若电路发生断路故障,电流表无示数,发生短路故障时有示数。当将电流表并联接入电路时,若电路中发生断路故障,电流表只有与发生故障处并联时才有示数。

(3)用欧姆挡检测故障时,首先要将开关断开,再依次测量各元件的阻值。示数为无穷大时为断路,示数为 0 时是短路。

33.(2014 课标Ⅰ,23,9 分)利用如图(a)所示电路,可以测量电源的电动势和内阻,所用的实验器材有:



图(a)

待测电源,电阻箱 R(最大阻值 999.9 Ω),电阻 R_0(阻值为3.0 Ω),电阻 R_1(阻值为 3.0 Ω),电流表Ⓐ(量程为 200 mA,内阻为 $R_A=6.0\ \Omega$),开关 S。

实验步骤如下:

①将电阻箱阻值调到最大,闭合开关 S;

②多次调节电阻箱,记下电流表的示数 I 和电阻箱相应的阻值 R;

③以$\frac{1}{I}$为纵坐标,R 为横坐标,作$\frac{1}{I}-R$ 图线(用直线拟合);

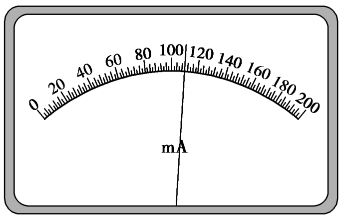
④求出直线的斜率 k 和在纵轴上的截距 b。

回答下列问题:

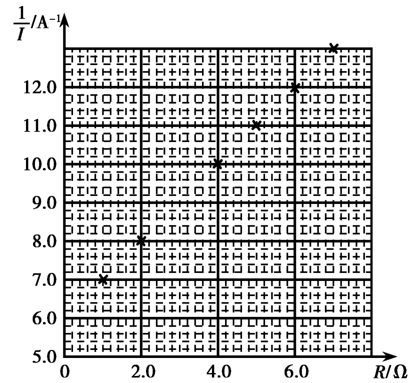
(1)分别用 E 和 r 表示电源的电动势和内阻,则 $\frac{1}{I}$ 与 R 的关系式为________________。

(2)实验得到的部分数据如下表所示,其中电阻 $R=3.0\ \Omega$ 时电流表的示数如图(b)所示,读出数据,完成下表。答:①________,②________。

R/Ω	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
I/A	0.143	0.125	①	0.100	0.091	0.084	0.077
I^{-1}/A^{-1}	6.99	8.00	②	10.0	11.0	11.9	13.0



图(b)



图(c)

(3)在图(c)的坐标纸上将所缺数据点补充完整并作图,根据图线求得斜率 k=________ $\text{A}^{-1}\cdot\Omega^{-1}$,截距 b=________A^{-1}。

(4)根据图线求得电源电动势 E=________V,内阻 r=________Ω。

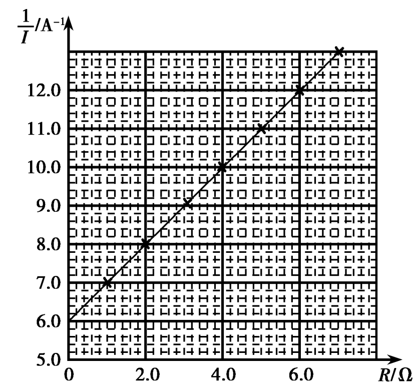
答案 (1)$\frac{1}{I}=\frac{R_A+R_1}{ER_1}R+\frac{1}{E}\left[R_A+\frac{R_A+R_1}{R_1}(r+R_0)\right]$ 或 $\frac{1}{I}=\frac{3.0}{E}R+\frac{3.0}{E}(5.0+r)$

(2)①0.110 ②9.09

(3)见解析 1.0(在0.96~1.04之间均对) 6.0(在5.9~6.1之间均对)

(4)3.0(在2.7~3.3之间均对) 1.0(在0.6~1.4之间均对)

解析 (1)由闭合电路欧姆定律有 $E=IR_A+\left(I+\frac{IR_A}{R_1}\right)(R+R_0+r)$,整理得 $\frac{1}{I}=\frac{R_A+R_1}{ER_1}R+\frac{1}{E}\left[R_A+\frac{R_A+R_1}{R_1}(r+R_0)\right]$,代入数据得 $\frac{1}{I}=\frac{3.0}{E}R+\frac{3.0}{E}(5.0+r)$。(2)①由题图知该电流表的分度值为2 mA,读数为110 mA,考虑到表格内各组数据的单位及有效数字位数,故结果应为0.110 A。②$\frac{1}{I}=9.09\ \text{A}^{-1}$。(3)描点作图如图所示,由图线可得 $k=\frac{13.0-6.0}{7.0-0}\ \text{A}^{-1}\cdot\Omega^{-1}=1.0\ \text{A}^{-1}\cdot\Omega^{-1}$,$b=6.0\ \text{A}^{-1}$。(4)由 $\frac{1}{I}=\frac{3.0}{E}R+\frac{3.0}{E}(5.0+r)$ 可知 $k=\frac{3.0}{E}$,$b=\frac{3.0}{E}(5.0+r)$,将 $k=1.0\ \text{A}^{-1}\cdot\Omega^{-1}$、$b=6.0\ \text{A}^{-1}$ 代入可得 $E=3.0\ \text{V}$,$r=1.0\ \Omega$。



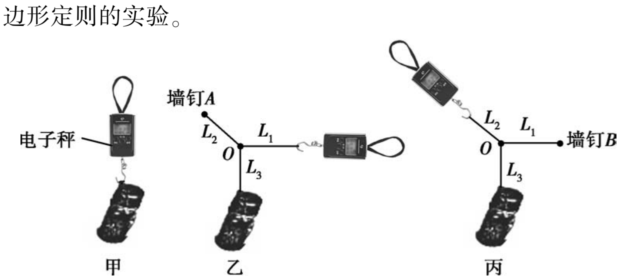
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码279

时间:45分钟 分值:60分

非选择题(共60分)

1.(6分)(**2020届百校联盟联考,12**)一同学用电子秤、水杯、细线、墙钉和贴在墙上的白纸等物品,在家中做验证力的平行四边形定则的实验。



(1)如图甲,在电子秤的下端悬挂一装满水的水杯,记下水杯静止时电子秤的示数 F;

(2)如图乙,将三根细线 L_1、L_2、L_3 的一端打结,另一端分别拴在电子秤的挂钩、墙钉 A 和水杯带上,水平拉开细线 L_1,在白纸上记下结点 O 的位置、________和电子秤的示数 F_1;

(3)如图丙,将另一枚墙钉 B 钉在与 O 处于同一水平线的位置上,并将 L_1 拴在其上,手握电子秤沿着(2)中 L_2 的方向拉开细线,使三根细线的结点与(2)中________重合,记录电子秤的示数 F_2;

(4)在白纸上按一定标度作出电子秤拉力 F、F_1、F_2 的图示,根据平行四边形定则作出 F_1、F_2 的合力 F' 的图示,若________,则力的平行四边形定则得到验证。

答案 (2)三根细线的方向 (3)结点的位置 (4)F' 大小与 F 相等、方向相同

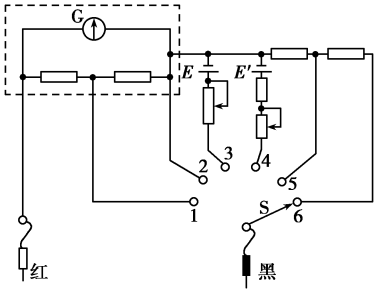
解析 本题考查了验证力的平行四边形定则,体现了科学思维中质疑创新要素。

(2)研究合力与分力的关系需要记录分力的大小和方向,即在白纸上记下结点 O 的位置的同时,也要记录三根细线的方向以及电子秤的示数 F_1。

(3)应使结点 O 的位置和三根细线的方向与(2)中重合,记录电子秤的示数 F_2。

(4)根据平行四边形定则作出合力,若 F' 大小与 F 相等、方向相同,则力的平行四边形定则得到验证。

2.(9分)(**2018湖北四地七校2月测试**)如图所示为多量程多用电表的示意图。



(1)测量某电阻时,用欧姆挡“×100”挡时,发现指针偏转角度过小,他应该换用欧姆挡________挡(填“×10”或“×1 k”),换挡后在测量前要先进行________,若接通3、4时分别对应“×10”、“×100”挡,则 E'=________E。

(2)表头G的标记值为10 mA,10 Ω,据此改装的多用电表测电流时的读数总比标准电流表的读数偏大,则表头G内阻的真实值________(填“大于”或“小于”)10 Ω。

(3)现提供以下实验器材:

A.表头G,标记值为10 mA,10 Ω;

B.电阻箱 R(0~999.9 Ω);

C.滑动变阻器 R_1(0~200 Ω,额定电流1 A);

D.滑动变阻器 R_2(0~2 kΩ,额定电流1 A);

E.直流电源 E_1(电动势为1.5 V,内阻很小);

F.直流电源 E_2(电动势为12 V,内阻很小);

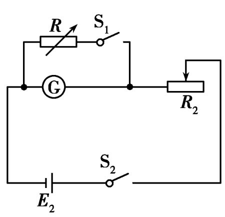
G.开关 S_1、S_2,导线若干

请在所给的方框中,用上述器材设计一个用半偏法较准确地测量表头G内阻的实验电路图,并在电路图中标明所选择器材的物理量符号。

答案　(1)×1 k　欧姆调零　10

(2)小于

(3)如图所示



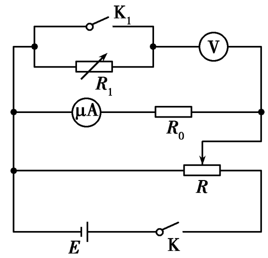
解析　(1)用欧姆挡“×100”挡时,指针偏转角度过小,说明待测电阻较大,应换为倍率更大的“×1 k”挡位。欧姆表更换挡位后,需要重新欧姆调零。若接通3、4时分别对应“×10”、“×100”挡,则 $E'=10E$。

(2)由 $I_0R_0=(I-I_0)R$,得 $I=I_0\left(\frac{R_0}{R}+1\right)$,当 I 的读数比真实值偏大,说明 R_0 的真实值比改装表计算时的代入值10 Ω偏小。

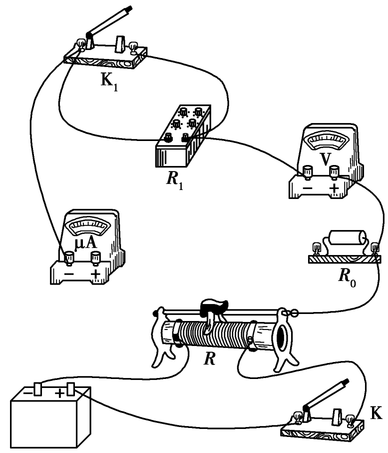
(3)根据半偏法的原理可知,应选用0~999.9 Ω的电阻箱,为了减小系统误差的影响,应选择阻值大的滑动变阻器 R_2,且应用限流式接法。同时为了满足电流的要求,应选择电动势大的电源 E_2。最终的电路设计如答案图所示。

3.(9分)(2018山西太原一模)某同学设计了如图甲所示电路同时测量电压表(量程为3 V,内阻几千欧)和微安表(量程为300 μA,内阻约一千欧)的内阻。

(1)按实验原理将图乙中的实物连接成实验电路。



甲



乙

(2)实验中,该同学进行了如下操作,完成下列问题:

①闭合 K_1,用伏安法测微安表内阻。为了测量更加准确,定值电阻 R_0 应该选择的是________;

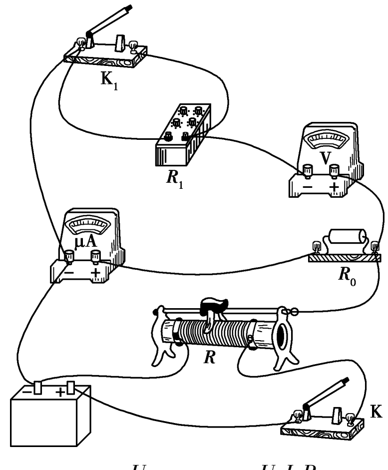
A.10 Ω　　B.100 Ω　　C.1 kΩ　　D.7.8 kΩ

②闭合 K_1 前,为保护电路不受损坏,图甲中滑动变阻器 R 的滑片应置于________端(选填“左”或“右”);

③闭合K后,调整滑动变电阻器 R,让电压表和微安表的示数尽可能的大。测得电压表的示数为 U_1,微安表的示数为 I_1,定值电阻的值为 R_0,则微安表的内阻为________;

④断开 K_1,调节滑动变阻器和电阻箱,当电阻箱的读数为 R_1 时,电压表的示数为 U_2,微安表的示数为 I_2,则电压表的内阻为________。

答案　(1)如图所示



(2)①D　②左　③$\frac{U_1}{I_1}-R_0$　④$\frac{U_2I_1R_1}{I_2U_1-I_1U_2}$

解析　(1)根据电路图连接实物图。

(2)①电压表两端电压与 R_0 和微安表的总电压相等,结合欧姆定律分析可知应选D。

②闭合K前,为保护电路元件不受损坏,图甲中滑动变阻

器 R 的滑片应置于左端。

③闭合 K_1,电阻 R_1 被短路,所以电压表测得 R_0 和微安表的总电压,则有 $U_1=I(R_0+R_{\mu A})$,可得微安表的阻值 $R_{\mu A}=\dfrac{U_1}{I_1}-R_0$。

④由 $\dfrac{U_2}{R_V}=\dfrac{I_2(R_0+R_{\mu A})-U_2}{R_1}$ 可得电压表内阻 $R_V=\dfrac{U_2I_1R_1}{I_2U_1-I_1U_2}$。

4.(6分)(**2020届山西太原联考,12**)利用图1的装置探究"恒力做功与物体动能变化"的关系。小车的质量为 M,钩码的质量为 m,且不满足 $m<M$。打点计时器的电源是频率为 f 的交流电。

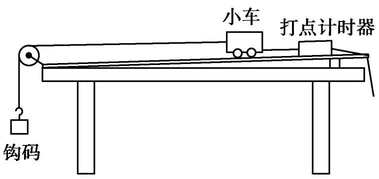


图1

(1)实验中,把长木板右端垫高,在不挂钩码且________的情况下,轻推一下小车,若小车拖着纸带做匀速运动,表明已经消除了摩擦力和其他阻力的影响。(填选项前的字母)

A.计时器不打点　　　　B.计时器打点

(2)图2是正确操作后得到的一条纸带。纸带上各点是打出的计时点,其中 O 点为打出的第一个点。小车发生的位移从纸带上计时点间的距离可以直接测出,利用下列测量值和题中已知条件能简单、准确完成实验的一项是________。(填选项前的字母)

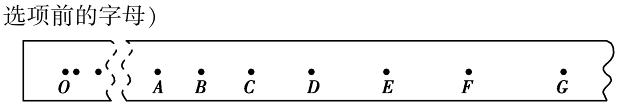


图2

A.OA、AD 和 EG 的长度

B.BD、CF 和 EG 的长度

C.OE、DE 和 EF 的长度

D.AC、EG 和 BF 的长度

(3)若测得图2中 $OF=x_1$,$EG=x_2$,则实验需要验证的关系式为________。(用已知和测得物理量的符号表示)

答案 (1)B (2)C (3)$mgx_1=\dfrac{1}{2}(M+m)\left(\dfrac{fx_2}{2}\right)^2$

解析 (1)打点计时器工作时,纸带受到摩擦力作用,平衡摩擦力时,需要通过打点计时器判断是否匀速,B选项正确。

(2)简单、准确地完成实验,需要选取的两点尽可能远,且方便测量,故测量 OE 段的长度,计算合力做功,测量 DE 和 EF 的长度,计算 E 点的瞬时速度,C选项正确。

(3)$EG=x_2$,根据匀变速直线运动的规律可知,中间时刻 F 点的瞬时速度 $v_F=\dfrac{EG}{2T}=\dfrac{fx_2}{2}$。

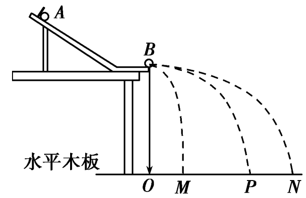
系统增加的动能 $\Delta E_k=\dfrac{1}{2}(M+m)v_F^2$,系统减少的重力势能 $\Delta E_p=mgx_1$。

实验验证的关系式为

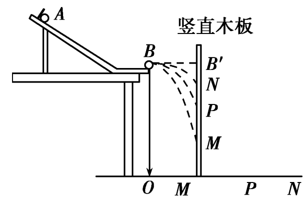
$mgx_1=\dfrac{1}{2}(M+m)\left(\dfrac{fx_2}{2}\right)^2$。

5.(4分)(**2019广西桂林4月综合能力检测,22**)如图甲,某实验小组采用常规方案验证动量守恒定律。实验完成后,该小组又把水平木板改为竖直木板再次做实验,如图乙所示。图中小球半径均相同、质量均已知,且 $m_A>m_B$,B、B' 两点在同一水平线上。

(1)若采用图甲所示的装置,实验中还必须测量的物理量是________________。



甲



乙

(2)若采用图乙所示的装置,下列说法正确的是______________。

A.必须测量 $B'O$、BN、BP 和 BM 的长度

B.必须测量 $B'N$、$B'P$ 和 $B'M$ 的长度

C.若 $\dfrac{m_A}{\sqrt{B'P}}=\dfrac{m_A}{\sqrt{B'M}}+\dfrac{m_B}{\sqrt{B'N}}$,则表明此碰撞动量守恒

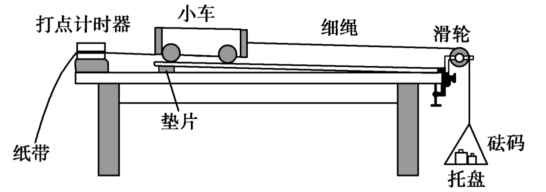
D.若 $\dfrac{m_A}{\sqrt{B'N}}=\dfrac{m_A}{\sqrt{B'M}}+\dfrac{m_B}{\sqrt{B'P}}$,则表明此碰撞动量守恒

答案 (1)OM、OP 和 ON 的长度 (2)BC

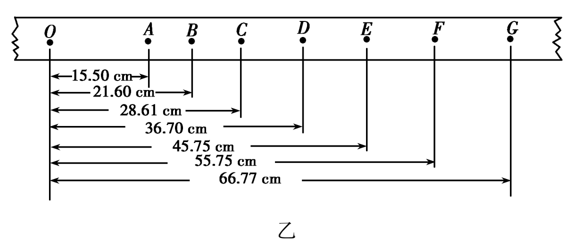
解析 (1)在图甲中,碰后小球做平抛运动,下落高度相同,故碰后的速度即平抛运动的初速度可采用平抛运动的水平位移来表示,故必须测量 OM、OP 和 ON 的长度。

(2)在图乙中,碰后小球做平抛运动,水平位移相同,故碰后的速度即平抛的初速度,可采用平抛运动下落的高度来表示,故必须测量 $B'N'$、$B'P$ 和 $B'M$ 的长度。两小球碰撞动量守恒,可得:$m_Av_0=m_Av_A+m_Bv_B$①;由平抛运动规律可得:$x=vt$、$h=\dfrac{1}{2}gt^2$,解得:$v=\sqrt{\dfrac{gx^2}{2h}}$②,联立①②式得 $m_A\sqrt{\dfrac{gx^2}{2B'P}}=m_A\sqrt{\dfrac{gx^2}{2B'M}}+m_B\sqrt{\dfrac{gx^2}{2B'N}}$,整理可得:$\dfrac{m_A}{\sqrt{B'P}}=\dfrac{m_A}{\sqrt{B'M}}+\dfrac{m_B}{\sqrt{B'N}}$,选项B、C正确。

6.(6分)(**2019河北衡水中学高考模拟八**)如图甲所示,某组同学借用"探究 a 与 F、m 之间的定量关系"的相关实验思想、原理及操作,进行"研究合外力做功和动能变化的关系"的实验:



甲



乙

①为达到平衡阻力的目的,取下细绳及托盘,通过调整垫片的位置,改变长木板倾斜程度,根据打出的纸带判断小车是否做________运动。

②连接细绳及托盘,放入砝码,通过实验得到图乙所示的纸带。纸带上 O 点为小车运动起始时刻所打的点,选取时间间隔为 0.1 s 的相邻计数点 A、B、C、D、E、F、G。实验时小车所受拉力为 0.2 N,小车的质量为 0.2 kg。请计算小车所受合外力做的功 W 和小车动能的变化 ΔE_k,补填表中空格(结果保留至小数点后第四位)。

	O—B	O—C	O—D	O—E	O—F
W/J	0.043 2	0.057 2	0.073 4	0.091 5	
ΔE_k/J	0.043 0	0.057 0	0.073 4	0.090 7	

分析上述数据可知:________________________________。

答案　①匀速直线　②0.111 5　0.110 5　在实验误差允许的范围内,物体合外力做功等于物体动能的变化

解析　①若平衡阻力的目的已达到,小车做匀速直线运动,根据打出的纸带判断小车是否做匀速直线运动,从而确认阻力是否已被平衡。

②小车所受拉力为 0.2 N,O 到 F 间距离为 55.75 cm,则 O 到 F 间小车所受合外力做的功 $W=Fx=0.2\ \text{N}\times 0.557\ 5\ \text{m}=0.111\ 5\ \text{J}$

时间间隔为 0.1 s 的相邻计数点,$t=0.1$ s

打 F 点时小车的瞬时速度 $v=\frac{s}{t}=\frac{0.667\ 7-0.457\ 5}{2\times 0.1}\ \text{m/s}=1.051\ \text{m/s}$

打 F 点时小车的动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times 0.2\times 1.051^2\ \text{J}\approx 0.110\ 5\ \text{J}$

分析上述数据可知,在实验误差允许的范围内,物体合外力做功等于物体动能的变化。

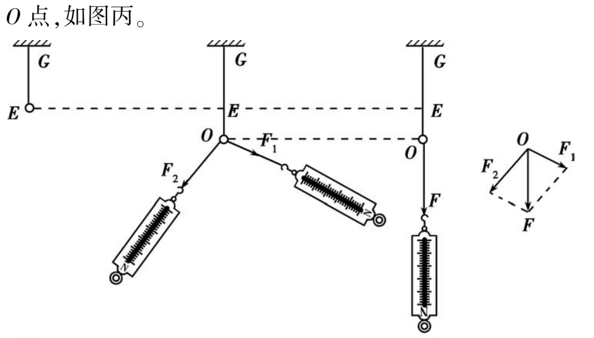
7.(10分)(**2019 安徽合肥一检,11**)以下是某实验小组探究"二力合成规律"的过程。

(1)首先进行如下操作:

①如图甲,轻质小圆环挂在橡皮条的一端,橡皮条另一端固定,橡皮条的长度为 GE;

②如图乙,用手通过两个弹簧测力计共同拉动小圆环。小圆环在拉力 F_1、F_2 的共同作用下,位于 O 点,橡皮条伸长的长度为 EO;

③撤去 F_1、F_2,改用一个力 F 单独拉住小圆环,仍使其位于 O 点,如图丙。



甲　　乙　　丙　　丁

同学们发现,力 F 单独作用,与 F_1、F_2 共同作用的效果是一样的,都使小圆环保持静止,由于两次橡皮条伸长的长度相同,即__________________,所以 F 等于 F_1、F_2 的合力。

(2)然后实验小组探究了合力 F 与分力 F_1、F_2 的关系:

①由纸上 O 点出发,用力的图示法画出拉力 F_1、F_2 和 F(三个力的方向沿各自拉线的方向,三个力大小由弹簧测力计读出);

②用虚线将拉力 F 的箭头端分别与 F_1、F_2 的箭头端连接,如图丁,得到的启示是________________;

③多次改变拉力 F_1、F_2 的大小和方向,重做上述实验,通过画各力的图示,进一步检验所围成的图形。实验小组发现:在两个力合成时,以表示这两个力的有向线段为邻边作平行四边形,这两个邻边之间的对角线就代表合力的大小和方向,这个规律叫做______________。上述实验中,如果把图乙和图丙的操作顺序对调,即先用拉力 F 将圆环拉到 O 点,再用拉力 F_1 和 F_2 共同拉圆环产生相同效果,则 F_1 和 F_2 就是 F 的________,此实验可以探究________规律。

答案　(1)③橡皮条对小圆环的拉力相同　(2)②可能构成平行四边形　③平行四边形定则　分力　力的分解

解析　(1)③两次橡皮条伸长的长度相等,即两次橡皮条对小圆环的拉力相同,说明单个力 F 的作用效果跟 F_1、F_2 共同作用的效果相同;

(2)②用虚线将拉力 F 的箭头端分别与 F_1、F_2 的箭头端连接,得到的图形为平行四边形,F_1 和 F_2 为邻边,F 为与 F_1 和 F_2 共顶点的对角线;

③多次改变拉力 F_1、F_2 的大小和方向,重做上述实验,在两个力合成时,以表示这两个力的有向线段为邻边作平行四边形,这两个邻边之间的对角线就代表合力的大小和方向,这个规律叫做平行四边形定则;如果把图乙和图丙的操作顺序对调,即先用拉力 F 将圆环拉到 O 点,再用拉力 F_1 和 F_2 共同拉圆环产生相同效果,则 F_1 和 F_2 就是 F 的分力,此实验可以探究力的分解规律。

8.(6分)(**2019 湖南永州一模,13**)某同学利用电压表和定值电阻测蓄电池电源的电动势和内阻。

(1)实验室有以下三个电压表,需要将它们改装成量程为 0~6 V 的电压表,以下措施正确的是________;

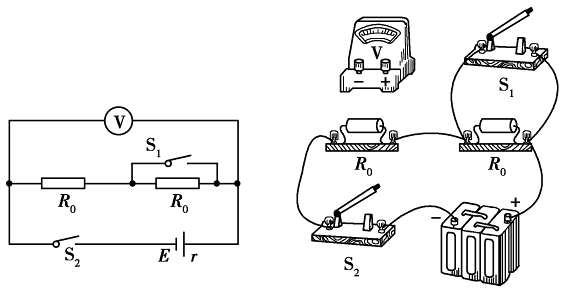
A.将电压表 V_1(0~1 V,内阻约为 1 kΩ)与 5 kΩ 的定值电阻 R 串联

B.将电压表 V_2(0~2 V,内阻约为 2 kΩ)与 4 kΩ 的定值电阻 R 串联

C.将电压表 V_3(0~3 V,内阻为 3 kΩ)与 3 kΩ 的定值电阻 R 串联

D.以上三项都可以

(2)用改装并校正后的电压表及两个定值电阻 R_0,测蓄电池的电动势和内阻,图甲为实验电路图,根据给出的电路图,将图乙的实物连线补充完整;



甲　　乙

(3)该实验的主要操作步骤如下:

A.按电路图连接实验器材;

B.将开关 S_2 闭合,开关 S_1 断开,电压表的示数是 U_1;

C.再将开关 S_1 闭合,电压表的示数是 U_2;

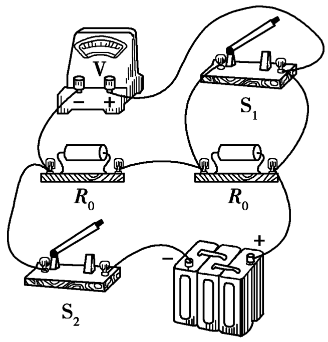
D.断开开关 S_2。

①根据实验所得数据,可得电源电动势的测量值 $E=$________;电源内阻的测量值 $r=$________;(结果用字母 U_1、U_2、R_0 表示)

②该实验测得的电动势比实际值偏________(填"大"或"小")。

答案 (1)C (2)如图所示

(3)①$\frac{U_1U_2}{2U_2-U_1}$ $\frac{2(U_1-U_2)}{2U_2-U_1}\cdot R_0$ ②小



解析 (1)要想改装电压表,应知道原电压表量程和内阻,由题意可知,只有C中电表内阻已知,同时根据改装原理可知 $U=\frac{U_V}{R_V}(R_V+R)=\frac{3}{3}\times(3+3)$ V=6 V,符合要求,故选C;

(2)根据电路图可得出对应的实物图,见答案;

(3)①由闭合电路欧姆定律可知,将开关 S_2 闭合,开关 S_1 断开时,$E=U_1+\frac{U_1}{2R_0}\cdot r$,将开关 S_1 闭合时,$E=U_2+\frac{U_2}{R_0}\cdot r$,联立解得 $E=\frac{U_1U_2}{2U_2-U_1}$,$r=\frac{2(U_1-U_2)}{2U_2-U_1}\cdot R_0$;

②由于电压表不是理想电表,则电压表分流,测出的电动势偏小。

9.(4分)(**2019 5·3题霸**)某同学想要测量一个未知电阻 R_x 的阻值,他能够使用的器材如下:

A.待测电阻 R_x,阻值约为20 Ω

B.电流表 A_1,量程为0~30 mA,内阻约为20 Ω

C.电流表 A_2,量程为0~5 mA,内阻 $r_2=250$ Ω

D.定值电阻 R_0,阻值为 $R_0=30$ Ω

E.定值电阻 R_1,阻值为 $R_1=300$ Ω

F.滑动变阻器 R,最大阻值约为10 Ω

G.电源 E,电动势约为3 V,内阻不大但不可忽略

H.开关S及若干导线

该实验要求没有系统误差,可以测量多组数据且调节方便,而且电表指针的偏转角度尽可能大,则:

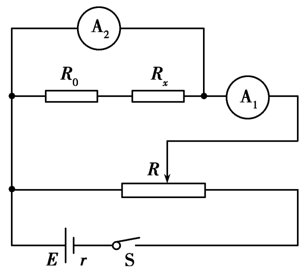
(1)该实验应选择的器材有:________________;(填器材前的字母代号)

(2)在虚线框中画出该实验的电路图;

(3)若两电流表的示数分别为 I_1、I_2,则待测电阻阻值的表达式为 $R_x=$______。

答案 (1)ABCDFGH (2)如图所示

(3)$\frac{I_2r_2}{I_1-I_2}-R_0$



解析 (1)电源、开关、导线、待测电阻,以及滑动变阻器必选,两个电流表中 A_1 作为电流表使用,内阻已知的电流表 A_2 作为电压表使用,为了让两个电表指针同时有较大偏转角度,需选择定值电阻 $R_0=30$ Ω 与 R_x 串联在一起进行测量。故该实验应选择的器材有A、B、C、D、F、G、H;

(2)因为要求测量多组数据且调节方便,故选择滑动变阻器分压式接法,电源电动势 $E\approx3$ V,电流表 A_2 量程为0~5 mA,内阻为 $r_2=250$ Ω,电流表 A_1 量程为0~30 mA,内阻约为20 Ω,待测电阻 R_x 阻值约为20 Ω;又因为要求电表指针的偏转角尽可能大,考虑电流表 A_2 达满偏时电流表 A_1 也接近满偏,有:$I_{A1}=\frac{I_{A2}r_2}{R_x+R}+I_{A2}=30$ mA,可得需要串联的电阻阻值约为:$R=30$ Ω;故选择 R_0 与 R_x 串联在一起进行测量,画出该实验的电路图,如答案图所示;

(3)若两电流表的示数分别为 I_1、I_2,根据欧姆定律结合串并联电路特点,可得待测电阻阻值的表达式:$R_x=\frac{I_2r_2}{I_1-I_2}-R_0$。

专题十五　热学

探考情　悟真题

5 年考情探究
真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 180

考点	考向	5 年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
分子动理论	分子动理论、内能	2019 课标Ⅰ,33(1),5 分	3	气体密度	科学推理		★★☆
		2019 北京理综,15,6 分	3		能量观念		
		2019 江苏单科,13A(1)	2		运动与相互作用观念		
		2018 课标Ⅱ,33(1),5 分	3	势能	模型建构		
		2017 课标Ⅰ,33(1),5 分	3		模型建构		
		2015 福建理综,29(1),6 分	3		模型建构		
		2018 北京理综,14,6 分	4		运动与相互作用观念		
固体、液体、气体	气体实验定律、理想气体状态方程	2019 课标Ⅰ,33(2),10 分	4	压强	运动与相互作用观念		★★★
		2019 课标Ⅱ,33,15 分	4	压强	运动与相互作用观念		
		2019 课标Ⅲ,33(2),10 分	4	力的平衡	运动与相互作用观念		
		2018 课标Ⅰ,33(2),10 分	4	力的平衡	运动与相互作用观念		
		2018 课标Ⅱ,33(2),10 分	4	力的平衡	模型建构		
		2018 课标Ⅲ,33(2),10 分	4	力的平衡	运动与相互作用观念		
		2017 课标Ⅰ,33(2),10 分	3	压强	模型建构		
		2017 课标Ⅱ,33(2),10 分	4	浮力	运动与相互作用观念		
		2017 课标Ⅲ,33(2),10 分	4	力的平衡	运动与相互作用观念		
		2016 课标Ⅲ,33(2),10 分	4		运动与相互作用观念		
		2015 课标Ⅰ,33(2),10 分	4	力的平衡	运动与相互作用观念		
热力学定律与能量守恒	热力学第一定律	2018 课标Ⅰ,33(1),5 分	4	T-V 图像	能量观念	图像法	★★★
		2018 课标Ⅲ,33(1),5 分	3	p-V 图像	能量观念	图像法	
		2017 课标Ⅱ,33(1),5 分	3		能量观念		
		2017 课标Ⅲ,33(1),5 分	3	p-V 图像	能量观念	图像法	
		2016 课标Ⅰ,33(1),5 分	3		能量观念		
		2016 课标Ⅱ,33(1),5 分	4	p-T 图像	能量观念	图像法	
		2019 江苏单科,13A(3)	2	p-V 图像	能量观念	图像法	

分析解读

本专题内容为新课标地区的选考内容,概念规律繁多,但要求较低,复习时应注意以下几个方面。

(1)加强对基本概念和基本规律的理解。强化概念和规律的记忆,如布朗运动、分子动能、分子势能、物体内能、热传递、分子力等概念;分子力的特点、分子力随分子间距离的变化关系、分子势能随分子间距离的变化关系、分子动能与温度的关系、热力学第一定律、热力学第二定律及三个气体实验定律等。

(2)固体、液体部分内容常结合实例考查晶体和非晶体的特点及液体表面张力产生的原因;应学会用表面张力解释一些生活现象。

(3)建立宏观量与微观量的关系。对一个物体而言,其分子动能与物体的温度相对应,其分子势能与物体的体积相对应。物体的内能与物体的温度、体积、物质的量相对应。物体内能的改变同做功和热传递相对应。

(4)加强贴近高考的典型题训练。精选一组符合考试大纲且贴近高考的试题,巩固本专题的基本概念和基本规律,提高分析问题和解决问题的能力。

真题探秘

对应学生用书起始页码 181

[2019课标Ⅰ,33(2),10分]热等静压设备广泛应用于材料加工中。该设备工作时,先在室温下把惰性气体用压缩机压入到一个预抽真空的炉腔中,然后炉腔升温,利用高温高气压环境对放入炉腔中的材料加工处理,改善其性能。一台热等静压设备的炉腔中某次放入固体材料后剩余的容积为0.13 m³,炉腔抽真空后,在室温下用压缩机将10瓶氩气压入到炉腔中。已知每瓶氩气的容积为3.2×10^{-2} m³,使用前瓶中气体压强为1.5×10^{7} Pa,使用后瓶中剩余气体压强为2.0×10^{6} Pa;室温温度为27 ℃。氩气可视为理想气体。

(ⅰ)求压入氩气后炉腔中气体在室温下的压强;

(ⅱ)将压入氩气后的炉腔加热到1 227 ℃,求此时炉腔中气体的压强。

创设试题情景:将现代设备模型化为一定质量的理想气体发生状态变化

给出等温变化中的初态压强和体积

给出理想气体的初态温度

给出等温变化中的末态压强

设问隐含着一定质量的理想气体发生等温变化,由玻意耳定律可求出结论

给出气体的末态温度,设问隐含着一定质量的理想气体发生等容变化,由查理定律可求出结论

① 核心要点

玻意耳定律和查理定律。

② 情景解读

从实际情景中抽象出理想气体发生等温变化和等容变化,体现了物理来源于生活。

③ 思路分析

将每瓶压强为p_0、体积为V_0气体转化为压强为p_1时的体积V_1,利用V_1与V_0之差,求出每瓶气体压入容器中的体积。再将10瓶这样的气体压到炉腔设备,由玻意耳定律确定出压入气体在室温下的压强。通过查理定律求出压入气体在发生等容变化时,温度升高后的压强。

④ 能力要求

在实际情景中抽象物理模型的能力;灵活应用气体实验定律的能力。

⑤ 答案

详细解析见369页5年高考B组第6题

破考点 练考向

考点考向清单 考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 182

考点一 分子动理论

考向基础

一、物体是由大量分子组成的

1.分子的大小——极小

分子直径的数量级:10^{-10} m。

分子直径可用油膜法估测。

2.分子的质量很小,一般物质分子质量的数量级是:10^{-26} kg。

3.阿伏加德罗常数

定义:1 mol的任何物质中含有相同的微粒个数,用符号N_A表示,$N_A=6.02\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}$。

阿伏加德罗常数是联系宏观和微观的桥梁。

4.分子的两种理想模型

球模型:$V=\frac{1}{6}\pi d^3$。

立方体模型:$V=d^3$。

5.微观量与宏观量

(1)已知固体和液体的摩尔体积V_{mol}和一个分子的体积V_0,求N_A,则$N_A=V_{mol}/V_0$;知N_A和V_{mol}亦可估算分子的大小。

(2)已知物质的摩尔质量M和一个分子的质量m_0,求N_A,则$N_A=M/m_0$;知N_A和M亦可估算分子的质量。

(3)已知物体的体积 V 和摩尔体积 V_{mol},求物体的分子数 n,则 $n=N_A\cdot V/V_{mol}$。

(4)已知物体的质量 m 和摩尔质量 M,求物体的分子数 n,则 $n=N_A\cdot m/M$。

注意　对固体和液体,可以认为分子是一个个紧密排列在一起的小球,对气体,由于分子间距离较大,可以利用立方体模型计算分子间的距离。

二、分子永不停息地做无规则热运动

扩散现象和布朗运动都说明分子做无规则热运动。运动的剧烈程度与温度有关。

1.扩散现象:相互接触的物体互相进入对方的现象。温度越高,扩散越快。

2.布朗运动

产生的原因:各个方向的液体分子对颗粒碰撞的不平衡。

布朗运动的特点:

- 永不停息、无规则运动。
- 颗粒越小,运动越剧烈。
- 温度越高,运动越剧烈。
- 运动轨迹不确定。

布朗颗粒:布朗颗粒用肉眼直接看不到,但在显微镜下能看到,因此用肉眼看到的颗粒所做的运动,不能叫布朗运动。布朗颗粒直径约为 10^{-6} m(包含约 10^{21} 个分子),而分子直径约为 10^{-10} m,布朗颗粒的运动是分子运动的间接反映。

3.布朗运动和热运动的比较

		布朗运动	热运动
共同点		都是无规则运动,都随温度的升高而变得更加剧烈	
不同点	运动物体	小颗粒	分子
	环境对象	液体或气体之中	任何物体
	运动类型	机械运动,是热运动的反映	热运动
联系		布朗运动是由于小颗粒受到周围分子热运动的撞击力不平衡而引起的,它是分子做无规则热运动的间接反映	

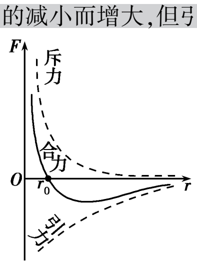
三、分子间存在着相互作用力

1.分子间同时存在相互作用的引力和斥力。

2.分子力:引力和斥力的合力。

3.r_0 为分子间引力和斥力大小相等时的距离,其数量级为 10^{-10} m。

4.如图所示,分子间的引力和斥力都随分子间距离的增大而减小,随分子间距离的减小而增大,但引力不如斥力变化快。



$r=r_0$ 时,$F_引=F_斥$,分子力 $F=0$。

$r<r_0$ 时,$F_引<F_斥$,分子力 F 为斥力。

$r>r_0$ 时,$F_引>F_斥$,分子力 F 为引力。

$r>10r_0$ 时,$F_引$、$F_斥$ 迅速减弱,几乎为零,分子力 $F\approx0$。

四、物体的内能

1.分子平均动能

物体内所有分子动能的平均值叫做分子的平均动能。温度是分子的平均动能大小的标志,温度越高,分子的平均动能越大。

2.分子势能

(1)概念:由分子间的相对位置和相互作用决定的能量。

(2)分子势能大小的相关因素

微观上:分子势能的大小与分子间距离有关。

当分子间距离 $r>r_0$ 时,分子势能随分子间距离的增大而增大;

当 $r<r_0$ 时,分子势能随分子间距离的减小而增大;

当 $r=r_0$ 时,分子势能最小。

宏观上:与物体的体积有关。大多数物体是体积变大,分子势能变大,也有少数物体(如冰、铸铁等),体积变大,分子势能反而变小。

3.物体的内能

(1)定义:物体内所有分子势能和分子动能的总和。

(2)决定内能的因素

微观上:分子动能、分子势能、分子个数。

宏观上:温度、体积、物质的量。

(3)改变物体的内能有两种方式

做功:当做功使物体的内能发生改变的时候,外界对物体做了多少功,物体内能就增加多少;物体对外界做了多少功,物体内能就减少多少。

热传递:当热传递使物体的内能发生改变的时候,物体吸收了多少热量,物体内能就增加多少;物体放出了多少热量,物体内能就减少多少。

注意　(1)温度相同的任意两个物体的分子平均动能相同,如温度相同的氢气和氧气分子平均动能相同,但由于氢气分子质量小于氧气分子质量,故氢气分子平均速率大于氧气分子平均速率。

(2)做功和热传递在改变物体内能上是等效的。

考向突破

考向　分子动理论、内能

1.为什么悬浮颗粒越小,温度越高,布朗运动越显著

布朗运动在相同温度下,悬浮颗粒越小,它的线度越小,表面积越小,在某一瞬间跟它相撞的分子数越少,颗粒受到来自各个方向的撞击力越不平衡;另外,颗粒线度小,它的体积和质量比表面积减小得更快,因而冲击力引起的加速度更大。因此,悬浮颗粒越小,布朗运动就越显著。

相同的颗粒悬浮在同种液体中,液体温度越高,分子运动的平均速率越大,对悬浮颗粒的撞击作用也越大,颗粒受到来自各个方向的撞击力越不平衡,由撞击力引起的加速度更大,所以温度越高,布朗运动就越显著。

例1　关于分子热运动和布朗运动,下列说法正确的是　(　　)

A.布朗运动是指在显微镜中看到的液体分子的无规则运动

B.布朗运动间接反映了分子在永不停息地做无规则运动

C.悬浮颗粒越大,同一时刻与它碰撞的液体分子越多,布朗运动越显著

D.当物体温度达到 0 ℃时,物体分子的热运动就会停止

解析　布朗运动是指在显微镜中看到的悬浮小颗粒的无规则运动,A 错误;布朗运动间接反映了液体分子运动的无规则性,B 正确;悬浮颗粒越大,液体分子对它的撞击作用的不平衡性越小,布朗运动越不明显,C 错误;热运动在 0 ℃时不会停止,D 错误。

答案　B

2.几组易混概念的辨析

(1)热量和内能

内能是由系统的状态决定的,状态确定,系统的内能也随之确定,要使系统的内能发生变化,可以通过热传递和做功两种方式来完成。而热量是热传递过程中的特征物理量,和功一样,热量只是反映物体在状态变化过程中所迁移的能量,是用来衡量物体内能变化的。有过程,才有变化,离开过程,毫无意义,就某一状态而言,只有“内能”,根本不存在什么“热量”和“功”,因此,不能说一个系统中含有“多少热量”或“多少功”。

(2)热量和温度

热量是热传递过程中的内能变化的量度。而温度是系统内部大量分子做无规则运动的激烈程度的标志。虽然热传递的前提是两个系统之间要有温度差,但是传递的是能量,不是温度。

热传递不仅可使系统温度发生变化,还可使物质状态发生变化。在物质状态变化中,传递给系统的热量并没有使系统的温度发生变化,因此不能说“系统吸收热量多,温度变化一定大”,也不能认为“系统的温度高,它放出的热量一定多”。因为放出的热量,不但和温度的变化值有关,还和比热容有关。总之,热量和温度之间虽然有一定的联系,但它们是完全不同的两个物理量。

例2 对于热量、功和物体的内能这三个物理量,下列各种叙述中正确的是 ( )

A.热量、功、内能三者的物理意义相同

B.热量和功都可以作为物体内能的量度

C.热量、功、内能的单位肯定不相同

D.热量和功是由过程决定的,而内能是由物体的状态决定的

解析 热量和功是物体内能改变的量度,而不是内能的量度,是过程量,而内能是状态量,A、B错,D对。它们的单位是相同的,C错。

答案 D

(3)平衡态与热平衡

平衡态是对某一系统而言的,热平衡是对两个接触的系统而言的;分别处于平衡态的两个系统在相互接触时,它们的状态可能会发生变化,直到温度相同时,两系统便达到了热平衡。达到了热平衡的两个系统都处于平衡态。

3.分子力做功与分子势能变化

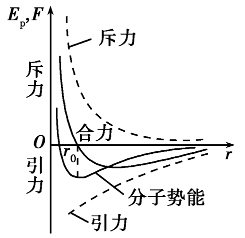
分子势能与分子间距离(r)的关系如下:

(1)当$r>r_0$时,分子间表现为引力,分子间距离增大时,分子力做负功,分子势能增大,反之减小。

(2)当$r<r_0$时,分子间表现为斥力,分子间距离减小时,分子力做负功,分子势能增大,反之减小。

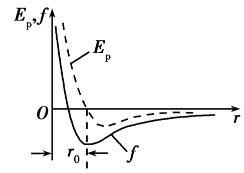
(3)当$r=r_0$时,分子力为零,分子势能最小,但不一定为零(这与零势能面的选取有关)。

(4)分子势能曲线(设$r\to\infty$处势能为零)如图所示。

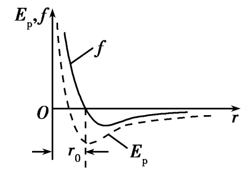


说明 分子势能的变化与分子力做功的关系,可用做功与能量变化的关系来分析。由于势能具有相对性,所以分子势能的大小、正负与零势能面的选取有关,一般选取无限远处为零势能面。因分子间的引力和斥力同时存在,且都随着间距变化,所以分析分子力做功时,应先明确分子力表现为什么力,在间距变化过程中做什么功,再根据分子力做功情况判断分子势能的变化情况。

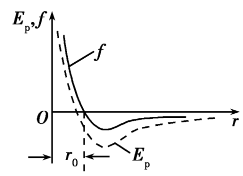
例3 下列四幅图中,能正确反映分子间作用力f和分子势能E_p随分子间距离r变化关系的图线是 ( )



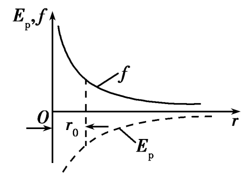
A



B



C



D

解析 分子间作用力f的特点是:$r<r_0$时f为斥力,$r=r_0$时$f=0$,$r>r_0$时f为引力;分子势能E_p的特点是$r=r_0$时E_p最小,因此只有B项正确。

答案 B

考点二 固体、液体、气体

考向基础

一、固体

1.固体分为晶体和非晶体两类。石英、云母、明矾、食盐、味精、蔗糖等是晶体,玻璃、蜂蜡、松香、沥青、橡胶等是非晶体。

2.单晶体具有规则的几何形状,多晶体和非晶体没有规则的几何形状;晶体有确定的熔点,非晶体没有确定的熔点。

3.有些晶体沿不同方向的导热或导电性能不同,有些晶体沿不同方向的光学性质不同,这类现象称为各向异性,非晶体和多晶体在各个方向的物理性质都是一样的,这叫做各向同性。

注意 金属是多晶体,所以它是各向同性的。

二、液体

1.液体分子间距离比气体分子间距离小得多,液体分子间的作用力比固体分子间的作用力要小;液体内部分子间的距离在10^{-10} m左右。

2.液体的表面张力

液体表面层分子间距离较大,因此分子间的作用力表现为引力;液体表面存在表面张力,使液体表面绷紧,浸润与不浸润也是分子力的表现。

3.液晶

液晶是一种特殊的物质,它既具有液体的流动性,又具有某些晶体的各向异性,液晶在显示器方面具有广泛的应用。

三、气体分子运动的特点

1.气体分子之间的距离大约是分子直径的10倍,气体分子之间的作用力十分微弱,可以忽略不计。

2.气体分子的速率分布,表现出“中间多,两头少”的统计分布规律。

3.气体分子向各个方向运动的机会均等。

4.温度一定时,某种气体分子的速率分布是确定的,速率的平均值也是确定的,温度升高,气体分子的平均速率增大,但不是每个分子的速率都增大。

四、描述气体的状态参量

1.温度(T或t)

(1)物理意义:宏观上表示物体的冷热程度;微观上标志物体分子热运动的激烈程度,它是物体分子平均动能的标志。

(2)两种温标

a.摄氏温标(t):单位℃。在1个标准大气压下,冰的熔点为0 ℃,水的沸点为100 ℃。

b.热力学温标(T):单位K。把−273 ℃作为0 K。绝对零度(0 K)是低温的极限,只能接近不能达到。

c.两种温标的关系:就每分度表示的冷热差别来说,两种温标是相同的,只是零值的起点不同,所以二者关系为$T=t+273\ \text{K}$,$\Delta T=\Delta t$。

2.体积(V)

(1)意义:气体分子所占据的空间,也就是气体所充满的容器的容积。

(2)单位:m^3,$1\ \text{m}^3=10^3\ \text{L}=10^6\ \text{mL}$。

3.压强(p)

(1)产生的原因

由于大量分子无规则地运动而碰撞器壁,形成对器壁各处均匀、持续的压力,作用在器壁单位面积上的压力叫做气体的压强。

(2)决定气体压强大小的因素

a.宏观上:决定于气体的温度、体积和物质的量。

b.微观上:决定于分子的平均动能和单位体积的分子数。

(3)常用单位及换算关系

帕斯卡(Pa):$1\ \text{Pa}=1\ \text{N/m}^2$

$1\ \text{atm}=1.013\times10^5\ \text{Pa}$

4.气体的状态及变化

(1)对于一定质量的气体,如果温度、体积、压强这三个量都不变,我们就说气体处于一定的状态。

(2)一定质量的气体,p与T、V有关。三个参量中不可能只有一个参量发生变化,至少有两个或三个同时改变。

考向突破

考向　气体实验定律、理想气体状态方程

1.理想气体

(1)在任何温度、任何压强下都遵从气体实验定律的气体叫理想气体。

(2)实际气体在温度不太低、压强不太大时可当做理想气体处理。

注意　理想气体是不存在的,它是实际气体在一定程度上的近似,是一种理想化的物理模型,一些不易液化的气体如氢气、氧气、氮气、氦气等,在通常温度、压强条件下,它们的性质近似于理想气体,可按理想气体处理。

2.两种气体压强的辨别

(1)大气压强

①大气压强是由于空气受重力作用紧紧包围地球而对浸在它里面的物体产生的压强。

②地面大气压的值与地球表面积的乘积,近似等于地球大气层所受的重力值。

(2)气体压强

①因密闭容器中的气体质量一般很小,由气体自身重力产生的压强极小,可忽略不计。

②气体压强是由气体分子频繁碰撞器壁产生的。

③气体压强由气体的体积、温度和物质的量决定。

④密闭容器中气体对器壁的压强处处相等。

例1　关于压强下列说法中正确的是　(　　)

A.大气压强是由于地球对大气的吸引而产生的

B.密封容器中气体的压强是由气体受到的重力产生的

C.大气压强在一定海拔内随高度的增加而减小

D.装有气体的密封容器自由下落时压强将减为零

解析　因密闭容器中的气体质量一般很小,由气体自身重力产生的压强极小,可以忽略不计,故气体压强由气体分子碰撞器壁产生,与重力无关。密闭容器中的气体对器壁的压强处处相等,与容器所处的状态无关。

大气压是由于空气受到重力作用紧紧包围地球而对浸在它里面的物体产生的压强。由于地球的引力作用,大气层分子密度上方小、下方大,从而使得大气压的值在一定海拔内随高度增加而减小。

答案　AC

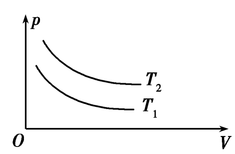
3.玻意耳定律

(1)内容:一定质量的某种气体,在温度不变的情况下,压强与体积成反比。

(2)公式:$pV=C$或$p_1V_1=p_2V_2$。

(3)条件:气体的质量一定,温度不变。

(4)图像:一定质量的气体在p-V图上的等温线是一条双曲线,如图所示,$T_1<T_2$。



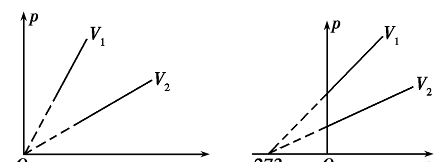
4.查理定律

(1)内容:一定质量的某种气体,在体积不变的情况下,压强与热力学温度成正比。

(2)公式:$\dfrac{p}{T}=C$或$\dfrac{p_1}{T_1}=\dfrac{p_2}{T_2}$。

(3)条件:气体的质量一定,体积不变。

(4)图像:一定质量的某种气体在p-T图上的等容线是一条过原点的直线,p-t图中等容线在t轴上的截距是−273 ℃,如图所示,$V_1<V_2$。



甲　　　乙

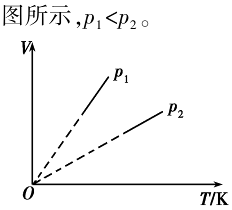
5.盖—吕萨克定律

(1)内容:一定质量的某种气体,在压强不变的情况下,其体积与热力学温度成正比。

(2)公式:$\dfrac{V}{T}=C$或$\dfrac{V_1}{T_1}=\dfrac{V_2}{T_2}$。

(3)条件:气体的质量一定,压强不变。

(4)图像:一定质量的某种气体在V-T图上的等压线是一条过原点的直线,如图所示,$p_1<p_2$。



6.理想气体状态方程

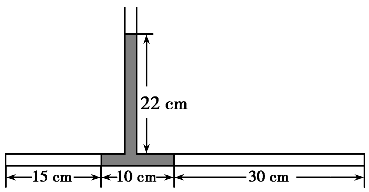
(1)内容:一定质量的理想气体,从状态 1 变到状态 2 时,尽管 p、V、T 都可能改变,但压强跟体积的乘积与热力学温度的比值不变。

(2)公式:$\frac{pV}{T}=C$ 或 $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$。

例 2 [2019 安徽江南十校联考,35(2)]内径相同、导热良好的"T"形细管竖直放置,管的水平部分左、右两端封闭,竖直管足够长且上端开口与大气相通,水银将水平管中的理想气体分为两部分,此时外界温度 $t_1=27$ ℃,各部分长度如图所示。外界大气压 $p_0=76$ cmHg。

(ⅰ)若外界温度保持不变,缓慢向管口注入水银,直到水平管中右侧气柱长度减小到 28 cm,求注入的水银柱长度;

(ⅱ)在(ⅰ)的状态下,求水平管中右侧气柱再次恢复为 30 cm时的环境温度(用摄氏温度表示)。



解析 (ⅰ)等温变化

以水平管右侧气柱为研究对象,设管的横截面积为 S

$p_1SL_1=p_2SL_2$

其中 $L_1=30$ cm,$L_2=28$ cm,$p_1=(76+22)$ cmHg$=98$ cmHg

解得 $p_2=105$ cmHg

由于水平管左右两侧压强相等,所以左侧气柱长度由15 cm 变为 14 cm

则需要注入的水银柱长度 $\Delta h=(105-98+3)$ cm$=10$ cm

(ⅱ)气体状态方程

$\frac{p_2SL_2}{T_1}=\frac{p_3SL_1}{T_2}$

其中 $L_1=30$ cm,$L_2=28$ cm,$p_2=105$ cmHg,$p_3=108$ cmHg,$T_1=300$ K

解得 $T_2=331$ K

所以 $t_2=58$ ℃

答案 (ⅰ)10 cm (ⅱ)58 ℃

考点三 热力学定律与能量守恒

考向基础

一、热力学定律

1.热力学第一定律

(1)内容:外界对物体做的功 W 与物体从外界吸收的热量 Q 之和等于物体内能的增量 ΔU。

(2)表达式:$\Delta U=W+Q$。

(3)符号规定

做功 W	外界对物体做功	$W>0$
	物体对外界做功	$W<0$
吸放热 Q	物体从外界吸收热量	$Q>0$
	物体向外界放出热量	$Q<0$
内能变化 ΔU	物体内能增加	$\Delta U>0$
	物体内能减小	$\Delta U<0$

2.热力学第二定律的两种表述

(1)热量不能自发地从低温物体传到高温物体。

(2)不可能从单一热库吸收热量,使之完全变成功,而不产生其他影响。

二、能量守恒定律

1.能量守恒定律的内容:能量既不会凭空产生,也不会凭空消失,它只能从一种形式转化为另一种形式,或者是从一个物体转移到别的物体,在转化或转移的过程中其总量保持不变。

2.条件性:能量守恒定律是自然界的普遍规律,某一种形式的能是否守恒是有条件的,例如,机械能守恒定律具有适用条件,而能量守恒定律是无条件的,是一切自然现象都遵守的基本规律。

3.两类永动机

(1)第一类永动机:不消耗任何能量,却源源不断地对外做功的机器。

违背能量守恒定律,因此不可能实现。

(2)第二类永动机:从单一热库吸收热量并把它全部用来对外做功,而不引起其他变化的机器。

违背热力学第二定律,不可能实现。

三、物体内能和机械能的区别

能量	定义	决定	量值	测量	转化
内能	物体内所有分子的动能和势能的总和	由物体内部分子微观运动状态决定,与物体整体运动情况无关	任何物体都具有内能,不为零	无法测量。其变化量可由做功和热传递来量度	在一定条件下可相互转化
机械能	物体的动能及重力势能和弹性势能的总和	与物体宏观运动状态、参考系和零势能面选取有关,和物体内部分子运动情况无关	可以为零	可以测量	

考向突破

考向 热力学第一定律

一、做功和热传递是如何改变内能的

做功和热传递在改变物体内能上是等效的,但有本质的区别。

本质的区别:做功使物体的内能改变,是其他形式的能和内能之间的转化。例如摩擦生热就是机械能转化成内能。热传递改变物体的内能是物体间内能的转移,如太阳照射冰,使冰化成水,就是太阳的内能通过辐射这一热传递的方式转移到冰,使冰的内能增加。

热量和功,都是系统内能变化的量度,都是过程量。一定量的热量还和一定量的功相当,热量可以通过系统转化为功,功也可以通过系统转化为热量,但它们之间有着本质的区别。

用做功来改变系统的内能,是系统内分子随整体的有序运动,转化为另一系统的分子的无规则运动的过程,是机械能或其他形式的能和内能之间的转化过程。

用热传递来改变系统的内能,是通过传导、对流、辐射来完成的,它将分子的无规则运动,从一个系统转移到另一个系统,这种转移也就是系统间的内能转换的过程。功是在没有热传递的过程中,系统能量变化的量度;热量是在没有做功的过程中,系统能量变化的量度。

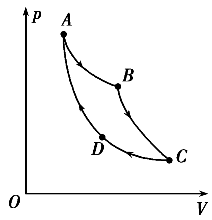
二、热力学第一定律的应用

在运用热力学第一定律的表达式 $\Delta U=W+Q$ 来分析问题时,必须理解它的物理意义,掌握它的符号法则。做功和热传递都

可以使物体的内能发生变化。如果物体跟外界同时发生做功和热传递,那么,外界对物体所做的功与物体从外界吸收的热量之和等于物体内能的增加。

按照符号法则将"+""-"号代入 $\Delta U=W+Q$ 计算或分析问题,如果事先不便确定其正负,可以先假定它为正,在计算出结果以后再作判断。若结果为正,说明与原假设一致,若结果为负,则说明与原假设相反。

例　[2019 安徽六校二联,33(1)]如图所示,一定质量的理想气体从状态 A 依次经过状态 B、C 和 D 后再回到状态 A。其中 $A\to B$ 和 $C\to D$ 为等温过程,$B\to C$ 和 $D\to A$ 为绝热过程。该循环过程中,下列说法正确的是________。



A.$A\to B$ 过程中,气体对外界做功,吸热

B.$B\to C$ 过程中,气体分子的平均动能增大

C.$C\to D$ 过程中,单位时间内碰撞单位面积器壁的分子数减少

D.$D\to A$ 过程中,气体分子的速率分布曲线发生变化

E.该循环过程中,气体吸热

解析　$A\to B$ 过程中,体积增大,气体对外界做功,温度不变,内能不变,根据 $\Delta U=Q+W$ 可知气体吸热,故 A 项正确;$B\to C$ 过程中,绝热膨胀,气体对外界做功,内能减小,温度降低,气体分子的平均动能减小,故 B 项错误;$C\to D$ 过程中,温度不变,体积变小,分子数密度变大,单位时间内碰撞单位面积器壁的分子数增多,故 C 项错误;$D\to A$ 过程中,绝热压缩,外界对气体做功,内能增加,温度升高,气体分子的平均动能增大,气体分子的速率分布曲线发生变化,故 D 项正确;该循环中,内能不变,气体对外界做的功大于外界对气体做的功,根据热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 可知气体吸热,故 E 项正确。

答案　ADE

考点集训

对应学生用书起始页码 187

考点一　分子动理论

1.[2018 河南八市第一次测评,16(1)](多选)关于热现象和热学规律,以下说法正确的有　(　　)

A.随分子间的距离增大,分子间的斥力减小,分子间的引力增大

B.液体表面层分子间距离大于液体内部分子间距离,液体表面存在张力

C.晶体熔化时吸收热量,分子平均动能不变

D.自然界中的能量虽然是守恒的,但并非所有的能量都能利用

E.气体的温度升高时,分子的热运动变得剧烈,分子的平均动能增大,撞击器壁时对器壁的作用力增大,从而气体的压强一定增大

答案　**BCD**　随分子间的距离增大,分子间的斥力和引力都减小,只是斥力减小得比引力快,选项 A 错误;液体表面层分子间距离大于液体内部分子间距离,因此液体表面存在张力,选项 B 正确;晶体熔化时虽吸收热量,但温度不变,因此分子平均动能不变,选项 C 正确;自然界中的能量虽然是守恒的,但有的能量不可利用,选项 D 正确;气体的温度升高时,分子的热运动变得剧烈,分子的平均动能增大,撞击器壁时对器壁的作用力增大,如果气体的体积增大,器壁表面单位面积上撞击的分子数减少,气体的压强不一定增大,选项 E 错误。

2.(多选)关于布朗运动,下列说法正确的是　(　　)

A.布朗运动是液体中悬浮微粒的无规则运动

B.液体温度越高,液体中悬浮微粒的布朗运动越剧烈

C.在液体中的悬浮颗粒只要大于某一尺寸,都会发生布朗运动

D.布朗运动是液体分子永不停息地做无规则运动

E.液体中悬浮微粒的布朗运动是液体分子对它的撞击作用不平衡所引起的

答案　**ABE**　布朗运动是液体中悬浮微粒的无规则运动,故 A 正确。液体温度越高,分子热运动越激烈,液体中悬浮微粒的布朗运动越剧烈,故 B 正确。悬浮颗粒越大,惯性越大,碰撞时受到的冲力越平衡,所以大颗粒不做布朗运动,故 C 错误。布朗运动是悬浮在液体中微粒的无规则运动,不是液体分子的无规则运动,故 D 错误。布朗运动是由液体分子从各个方向对悬浮微粒撞击作用的不平衡引起的,故 E 正确。故选 A、B、E。

考查点　布朗运动

解题指导　布朗运动是悬浮在液体中微粒的无规则运动,不是液体分子的无规则运动,形成的原因是液体分子对悬浮微粒的无规则撞击;液体温度越高,悬浮粒子越小,布朗运动越剧烈。对于布朗运动,要理解并掌握布朗运动形成的原因,知道布朗运动既不是微粒分子的运动,也不是液体分子的运动,而是液体分子无规则运动的反映。

3.[2020 届河南五校联考,33(1)]在"用油膜法估测分子的大小"实验中,用 a mL 的纯油酸配制成 b mL 的油酸酒精溶液,再用滴管取 1 mL 油酸酒精溶液,让其自然滴出,共 n 滴。现在让其中一滴落到盛水的浅盘内,待油膜充分展开后,测得油膜的面积为 S cm^2,则:

(1)估算油酸分子的直径大小是________cm。

(2)用油膜法测出油酸分子的直径后,要测定阿伏加德罗常数,还需要知道油酸的________。

A.摩尔质量　　　B.摩尔体积

C.质量　　　　　D.体积

答案　(1)$\frac{a}{bSn}$　(2)B

解析　本题考查分子动理论中的估算问题,体现了科学思维中的模型建构要素。

(1)油酸酒精溶液的浓度为$\frac{a}{b}$,一滴油酸酒精溶液的体积为$\frac{1}{n}$ mL,一滴油酸酒精溶液含纯油酸$\frac{a}{bn}$ mL,则油酸分子的直径大小为 $d=\frac{a}{bSn}$ cm。

(2)设一个油酸分子体积为 V,则 $V=\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$,由 $N_A=\frac{V_{mol}}{V}$可知,要测定阿伏加德罗常数,还需知道油酸的摩尔体积,B 正确。

考点二　固体、液体、气体

1.[2019 广西梧州联考,33(1)](多选)以下说法正确的是　(　　)

A.当一定量气体吸热时,其内能可能减小

B.单晶体有固定的熔点,多晶体和非晶体都没有固定的熔点
C.一定量的理想气体在等温变化的过程中,随着体积减小,气体压强增大
D.已知阿伏加德罗常数、气体的摩尔质量和密度,可估算出该气体分子间的平均距离
E.给自行车打气时越往下压,需要用的力越大,是因为压缩气体使得分子间距减小,分子间作用力表现为斥力导致的

答案 ACD 由热力学第一定律可知,$\Delta U=Q+W$,气体的内能由做功和热传递共同决定,A 正确;单晶体和多晶体都是晶体,都具有固定熔点,非晶体没有固定熔点,B 错误;由理想气体状态方程 $pV=kT$ 可知,温度恒定时,体积减小,压强增大,C 正确;气体的平均距离 $d=\sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}}$,D 正确;给车胎打气越来越费力是因为压强越来越大,E 错误。

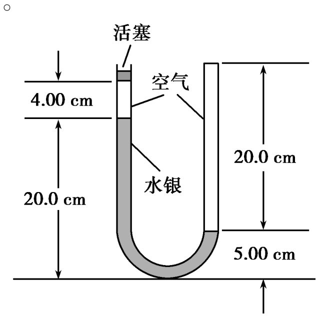
2.[2015 课标Ⅰ,33(1),5 分](多选)下列说法正确的是 ( )

A.将一块晶体敲碎后,得到的小颗粒是非晶体
B.固体可以分为晶体和非晶体两类,有些晶体在不同方向上有不同的光学性质
C.由同种元素构成的固体,可能会由于原子的排列方式不同而成为不同的晶体
D.在合适的条件下,某些晶体可以转变为非晶体,某些非晶体也可以转变为晶体
E.在熔化过程中,晶体要吸收热量,但温度保持不变,内能也保持不变

答案 BCD 晶体被敲碎后,其空间点阵结构未变,仍是晶体,A 错误;单晶体光学性质各向异性,B 正确;同种元素由于空间的排列结构而形成不同的晶体,C 正确;如果外界条件改变了分子或原子的空间排列结构,晶体和非晶体之间可以互相转化,D 正确;在晶体熔化过程中,分子势能会发生改变,内能也会改变,E 错误。

规律总结 晶体分为单晶体和多晶体,单晶体有确定的熔点,具有各向异性,多晶体有确定的熔点,具有各向同性。非晶体没有确定的熔点,具有各向同性。

3.[2016 课标Ⅲ,33(2),10 分]一 U 形玻璃管竖直放置,左端开口,右端封闭,左端上部有一光滑的轻活塞。初始时,管内汞柱及空气柱长度如图所示。用力向下缓慢推活塞,直至管内两边汞柱高度相等时为止。求此时右侧管内气体的压强和活塞向下移动的距离。已知玻璃管的横截面积处处相同;在活塞向下移动的过程中,没有发生气体泄漏;大气压强 $p_0=75.0$ cmHg。环境温度不变。



答案 144 cmHg 9.42 cm

解析 设初始时,右管中空气柱的压强为 p_1,长度为 l_1;左管中空气柱的压强为 $p_2=p_0$,长度为 l_2。活塞被下推 h 后,右管中空气柱的压强为 p_1',长度为 l_1';左管中空气柱的压强为 p_2',长度为 l_2'。以 cmHg 为压强单位。由题给条件得 $p_1=p_0+(20.0-5.00)$cmHg ①

$l_1'=\left(20.0-\frac{20.0-5.00}{2}\right)$ cm ②

由玻意耳定律得 $p_1l_1=p_1'l_1'$ ③

联立①②③式和题给条件得

$p_1'=144$ cmHg ④

依题意 $p_2'=p_1'$ ⑤

$l_2'=4.00\text{ cm}+\frac{20.0-5.00}{2}\text{ cm}-h$ ⑥

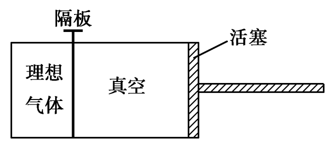
由玻意耳定律得 $p_2l_2=p_2'l_2'$ ⑦

联立④⑤⑥⑦式和题给条件得 $h=9.42$ cm ⑧

审题指导 由于环境温度不变,玻璃管内气体发生的是等温变化,适用规律是玻意耳定律,分别以左管内和右管内气体为研究对象,找出初末状态参量,列出玻意耳定律方程即可求解。

考点三 热力学定律与能量守恒

1.[2017 课标Ⅱ,33(1),5 分](多选)如图,用隔板将一绝热汽缸分成两部分,隔板左侧充有理想气体,隔板右侧与绝热活塞之间是真空。现将隔板抽开,气体会自发扩散至整个汽缸。待气体达到稳定后,缓慢推压活塞,将气体压回到原来的体积。假设整个系统不漏气。下列说法正确的是 ( )



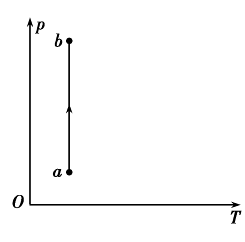
A.气体自发扩散前后内能相同
B.气体在被压缩的过程中内能增大
C.在自发扩散过程中,气体对外界做功
D.气体在被压缩的过程中,外界对气体做功
E.气体在被压缩的过程中,气体分子的平均动能不变

答案 ABD 本题考查理想气体内能的改变途径、热力学第一定律。气体自发扩散时不对外做功,$W=0$,汽缸绝热,$Q=0$,由热力学第一定律得 $\Delta U=W+Q=0$,故气体内能不变,选项 A 正确,C 错误;气体被压缩的过程中体积缩小,外界对气体做功,$W>0$,$Q=0$,故 $\Delta U>0$,气体内能增大,故理想气体的温度升高,则分子平均动能增大,选项 B、D 正确,选项 E 错误。

知识归纳 对气体做功及理想气体内能的理解

气体自由扩散时,体积虽变大,但没有施力和受力物体,因此不做功;气体被压缩时,体积减小,外界对气体做功;理想气体不计分子势能,因此理想气体的内能等于所有分子的动能之和。

2.[2019 广西桂林、梧州、贵港、玉林、崇左、北海第一次联合调研,33(1)](多选)如图所示,一定质量的理想气体从状态 a 变化到状态 b,其过程如 $p-T$ 图中从 a 到 b 的直线所示。在此过程中 ( )

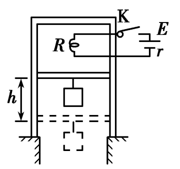


A.气体的体积减小
B.气体对外界做功
C.气体的内能不变
D.气体先从外界吸收热量,后向外界放出热量
E.外界对气体做功,同时气体向外界放出热量

答案 ACE 一定质量的理想气体从状态 a 变化到状态 b

过程，温度不变，理想气体的内能不变，选项 C 正确；压强变大，根据理想气体状态方程，可知气体的体积减小，选项 A 正确；气体体积减小，外界对气体做功，选项 B 错误；根据热力学第一定律，外界对气体做功，气体内能不变，则气体向外界放出热量，选项 E 正确。

3.［**2020 届山西五校联考，33(2)**］如图所示，一绝热汽缸倒立竖放在两水平台面上，缸内一光滑活塞密封了一定质量的理想气体。在活塞下挂有一物块，活塞与物块的总重力 $G=30$ N，活塞的横截面积 $S=3\times10^{-3}$ m²。活塞静止时，缸内气体温度 $t_1=27$ ℃，体积 $V_1=3\times10^{-3}$ m³。外界的大气压强恒为 $p_0=1\times10^5$ Pa，缸内有一个电阻丝，电阻丝的电阻值恒为 $R=5\ \Omega$，电源电动势 $E=18$ V、内阻 $r=1\ \Omega$。闭合开关 20 s 后，活塞缓慢下降高度 $h=0.1$ m，设电阻丝产生的热量全部被汽缸内的气体吸收，求：



(1)20 s 内气体内能的变化量；

(2)20 s 末缸内气体的温度。

答案　(1)873 J　(2)57 ℃

解析　本题考查了气体实验定律、热力学第一定律，体现了物理观念中的能量要素。

解此题要抓住以下信息：

①“绝热汽缸”说明吸收的热量全部来源于电阻丝发热($Q=I^2Rt$)。

②“密封了一定质量的理想气体”说明符合气体实验定律。

③“活塞缓慢下降”则可认为缸内气体压强保持不变，气体做等压变化。

(1)设缸内气体初态压强为 p_1，对活塞由平衡条件有 $p_0S=G+p_1S$

在电热丝对气体加热 20 s 的过程中，缸内气体对活塞做的功为

$W=p_1Sh$

电阻丝产生的热量为 $Q=I^2Rt$，其中 $I=\dfrac{E}{R+r}$

根据热力学第一定律有 $\Delta U=Q-W$

解得 $\Delta U=873$ J，即气体的内能增加了 873 J。

(2)气体做等压变化，由盖—吕萨克定律有 $\dfrac{V_1}{T_1}=\dfrac{V_1+Sh}{T_2}$

解得 $T_2=330$ K，则缸内气体的温度是 57 ℃。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

方法技巧

对应学生用书起始页码 189

方法 1　微观量的估算方法

1.微观物理量：分子的质量 m_0，分子体积 V_0，分子直径 d。

2.宏观物理量：物质的质量 m，体积 V，密度 ρ，摩尔质量 M，摩尔体积 V_A。

3.阿伏加德罗常数是联系宏观物理量与微观物理量的桥梁，根据油膜法测出分子的直径，可算出阿伏加德罗常数；反过来，已知阿伏加德罗常数，根据摩尔质量(或摩尔体积)就可以算出一个分子的质量(或一个分子的体积)。

(1)分子的质量：$m_0=\dfrac{M}{N_A}=\dfrac{\rho V_A}{N_A}$。

(2)分子的体积：$V_0=\dfrac{V_A}{N_A}=\dfrac{M}{\rho N_A}$。

对于气体，由于分子间空隙很大，用上式估算出的是一个分子所占据的体积(活动的空间)。

(3)分子的大小：球模型直径 $d=\sqrt[3]{\dfrac{6V_0}{\pi}}$，立方体模型边长为 $d=\sqrt[3]{V_0}$。

(4)物质所含的分子数：$N=nN_A=\dfrac{m}{M}N_A=\dfrac{V}{V_A}N_A$，$N_A=\dfrac{V_A\rho}{m_0}=\dfrac{M}{\rho V_0}$。

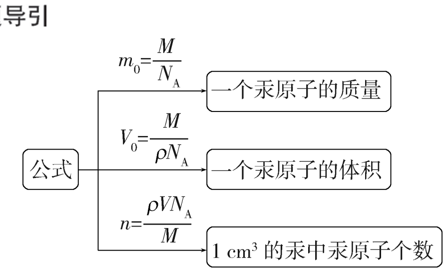
例 1　已知汞的摩尔质量为 $M=200.5\times10^{-3}$ kg/mol，密度为 $\rho=13.6\times10^3$ kg/m³，阿伏加德罗常数 $N_A=6.0\times10^{23}$ mol⁻¹。求：

(1)一个汞原子的质量(用相应的字母表示即可)；

(2)一个汞原子的体积(结果保留一位有效数字)；

(3)体积为 1 cm³ 的汞中汞原子的个数(结果保留一位有效数字)。

解题导引



解析　(1)一个汞原子的质量为 $m_0=\dfrac{M}{N_A}$。

(2)一个汞原子的体积为

$$V_0=\frac{V_A}{N_A}=\frac{M}{\rho N_A}=\frac{200.5\times10^{-3}}{13.6\times10^3\times6.0\times10^{23}}\ \text{m}^3\approx2\times10^{-29}\ \text{m}^3。$$

(3)1 cm³ 的汞中含汞原子个数

$$n=\frac{\rho VN_A}{M}=\frac{13.6\times10^3\times1\times10^{-6}\times6.0\times10^{23}}{200.5\times10^{-3}}\approx4\times10^{22}。$$

答案　(1)$\dfrac{M}{N_A}$　(2)2×10^{-29} m³　(3)4×10^{22}

方法 2　液柱或活塞移动问题的分析方法

用液柱或活塞隔开两部分气体，当气体温度变化时，液柱或活塞是否移动？如何移动？

此类问题的特点是气体的状态参量 p、V、T 都发生了变化，直接判断液柱或活塞的移动方向比较困难，通常先进行气体状态的假设，然后应用查理定律可以简单地求解。其一般思路为：

1.先假设液柱或活塞不发生移动,两部分气体均做等容变化。

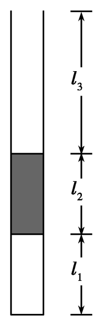
2.对两部分气体分别应用查理定律的分比形式 $\Delta p=\frac{\Delta T}{T}p$,求出每部分气体压强的变化量 Δp,并加以比较。

①如果液柱或活塞两端的横截面积相等,则若 Δp 均大于零,意味着两部分气体的压强均增大,则液柱或活塞向 Δp 值较小的一方移动;若 Δp 均小于零,意味着两部分气体的压强均减小,则液柱或活塞向压强减小量较大的一方(即 $|\Delta p|$ 较大的一方)移动;若 Δp 相等,则液柱或活塞不移动。

②如果液柱或活塞两端的横截面积不相等,则应考虑液柱或活塞两端的受力变化(ΔpS),若 Δp 均大于零,则液柱或活塞向 ΔpS 较小的一方移动;若 Δp 均小于零,则液柱或活塞向 $|\Delta pS|$ 值较大的一方移动;若 ΔpS 相等,则液柱或活塞不移动。

说明 *要判断液柱或活塞的移动方向,则需要选择好研究对象,进行受力分析,综合应用玻意耳定律、查理定律和力学规律进行推理和判断。*

例2 如图,一上端开口、下端封闭的细长玻璃管竖直放置。玻璃管的下部封有长 $l_1=25.0$ cm 的空气柱,中间有一段长 $l_2=25.0$ cm 的水银柱,上部空气柱的长度 $l_3=40.0$ cm。已知大气压强为 $p_0=75.0$ cmHg。现将一活塞(图中未画出)从玻璃管开口处缓慢往下推,使管下部空气柱长度变为 $l_1'=20.0$ cm。假设活塞下推过程中没有漏气,求活塞下推的距离。

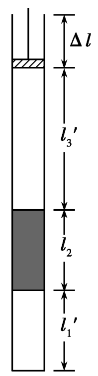


解析 以 cmHg 为压强单位。在活塞下推前,玻璃管下部空气柱的压强为

$p_1=p_0+l_2$ ①

设活塞下推后,下部空气柱的压强为 p_1',由玻意耳定律得

$p_1l_1=p_1'l_1'$ ②



如图,设活塞下推距离为 Δl,则此时玻璃管上部空气柱的长度为

$l_3'=l_3+l_1-l_1'-\Delta l$ ③

设此时玻璃管上部空气柱的压强为 p_3',则

$p_3'=p_1'-l_2$ ④

由玻意耳定律得

$p_0l_3=p_3'l_3'$ ⑤

由①~⑤式及题给数据解得

$\Delta l=15.0$ cm ⑥

答案 15.0 cm

方法3 汽缸类问题的解题方法

汽缸类问题是热学部分典型的物理综合题,它需要考查气体、汽缸或活塞等多个研究对象,涉及热学、力学乃至电学等物理知识,需要灵活、综合地应用知识来解决问题。

汽缸类问题的几种常见类型

(1)气体系统处于平衡状态,需综合应用气体定律和物体的平衡条件解题。

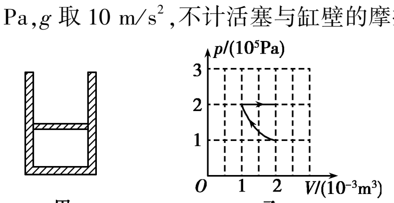
(2)气体系统处于力学非平衡状态,需要综合应用气体定律和牛顿运动定律解题。

(3)封闭气体的容器(如汽缸、活塞、玻璃管等)与气体发生相互作用的过程中,如果满足能量守恒定律的适用条件,可根据相应的能量守恒定律解题。

(4)两个或多个汽缸封闭着几部分气体,并且汽缸之间相互关联的问题,解答时应分别研究各部分气体,找出它们各自遵循的规律,并写出相应的方程,还要写出各部分气体之间压强或体积的关系式,最后联立求解。

说明 *当选取力学研究对象进行分析时,研究对象的选取并不唯一,可以灵活地选取整体或部分为研究对象进行受力分析,列出平衡方程或动力学方程。*

例3 (2019河南重点中学联考)在盛有冰水混合物的水槽中竖直地浸有一足够高的导热汽缸,不计质量的活塞封闭了一定质量的理想气体,活塞的横截面积 $S=4\times10^{-3}$ m²,如图甲所示。现缓慢地在活塞上倒上一定量的细沙,活塞静止时气体的体积恰好变为原来的一半。然后将汽缸移出水槽,缓慢加热至某一温度,活塞刚好上升到最初的位置。整个过程中汽缸内气体的状态变化如图乙所示(箭头表示状态变化的方向)。大气压强 $p_0=1.0\times10^5$ Pa,g 取 10 m/s²,不计活塞与缸壁的摩擦。求:

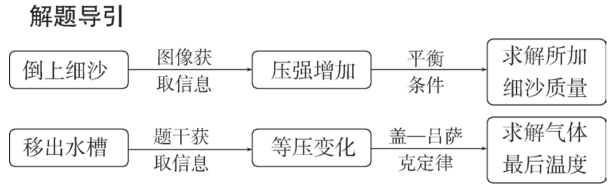


甲　乙

(1)所加细沙的质量;

(2)气体最后的温度。

解题导引



解析 (1)倒上细沙,压强增加为 2×10^5 Pa

根据平衡条件得 $mg=(p_2-p_1)S$

解得 $m=\frac{1\times10^5\times4\times10^{-3}}{10}$ kg$=40$ kg

(2)移出水槽,气体等压变化

初状态:$T_1=273$ K,$V_1=1\times10^{-3}$ m³,末状态,$V_2=2\times10^{-3}$ m³

根据盖—吕萨克定律 $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$

解得 $T_2=546$ K 或 $t_2=273$ ℃

答案 (1)40 kg (2)546 K 或 273 ℃

方法集训

对应学生用书起始页码 191

方法 1　微观量的估算方法

1.［2018 广东南海六校联考,33(1)］(多选)已知阿伏加德罗常数为 N_A,铜的摩尔质量为 M_0,密度为 ρ(均为国际制单位),则　(　　)

A.1 个铜原子的质量是$\frac{M_0}{N_A}$

B.1 个铜原子的体积是$\frac{M_0}{\rho N_A}$

C.1 kg 铜所含原子的数目是 ρN_A

D.1 m^3 铜所含原子的数目为$\frac{\rho N_A}{M_0}$

答案　ABD　铜的摩尔质量即 N_A 个铜原子的质量,因此 1 个铜原子的质量是$\frac{M_0}{N_A}$,故选项 A 正确;1 摩尔铜的体积为$\frac{M_0}{\rho}$,故每个铜原子的体积为$\frac{M_0}{\rho N_A}$,选项 B 正确;1 kg 铜的物质的量为$\frac{1\ 000\ g}{M_0}$,则原子数目为$\frac{1\ 000\ g}{M_0}N_A$,故选项 C 错误;1 个铜原子的体积是$\frac{M_0}{\rho N_A}$,则 1 m^3 铜所含原子的数目为$\frac{\rho N_A}{M_0}$,故选项 D 正确。

2.(2020 届黑龙江大庆联考)(多选)钻石是首饰和高强度钻头、刻刀等工具中的主要材料,设钻石的密度为 ρ(单位为kg/m^3),摩尔质量为 M(单位为 g/mol),阿伏加德罗常数为 N_A。已知 1 克拉 = 0.2 克,则　(　　)

A.a 克拉钻石所含有的分子数为$\frac{0.2aN_A}{M}$

B.a 克拉钻石所含有的分子数为$\frac{aN_A}{M}$

C.每个钻石分子直径的表达式为$\sqrt[3]{\frac{6M\times10^{-3}}{N_A\rho\pi}}$(单位为 m)

D.每个钻石分子直径的表达式为$\sqrt{\frac{6M}{N_A\rho\pi}}$(单位为 m)

E.每个钻石分子的质量为$\frac{M}{N_A}$

答案　ACE　本题考查了分子动理论的估算问题,体现了物理观念中的物质要素。

a 克拉钻石物质的量为 $n=\frac{0.2a}{M}$,所含分子数为 $N=nN_A=\frac{0.2aN_A}{M}$,选项 A 正确,B 错误;钻石的摩尔体积 $V=\frac{M\times10^{-3}}{\rho}$(单位为 m^3/mol),每个钻石分子体积为 $V_0=\frac{V}{N_A}=\frac{M\times10^{-3}}{N_A\rho}$,设钻石分子直径为 d,则 $V_0=\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$,联立解得$d=\sqrt[3]{\frac{6M\times10^{-3}}{N_A\rho\pi}}$(单位为 m),选项 C 正确,D 错误;根据阿伏加德罗常数的意义知,每个钻石分子的质量 $m_0=\frac{M}{N_A}$,选项 E 正确。

3.某同学在进行"用油膜法估测分子的大小"的实验前,查阅数据手册得知:油酸的摩尔质量 $M=0.283\ kg\cdot mol^{-1}$,密度$\rho=0.895\times10^3\ kg\cdot m^{-3}$。若 100 滴油酸的体积为 1 mL,则1 滴油酸所能形成的单分子油膜的面积约是多少?(取 $N_A=6.02\times10^{23}\ mol^{-1}$,球的体积 V 与直径 D 的关系为 $V=\frac{1}{6}\pi D^3$,结果保留一位有效数字)

答案　$1\times10^1\ m^2$

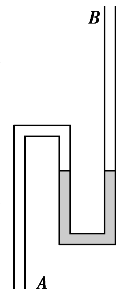
解析　一个油酸分子的体积 $V=\frac{M}{\rho N_A}$,由 $V=\frac{\pi}{6}D^3$ 可得

$D=\sqrt[3]{\frac{6M}{\pi\rho N_A}}$。

最大面积 $S=\frac{1\times10^{-8}\ m^3}{D}$,解得 $S=1\times10^1\ m^2$。

方法 2　液柱或活塞移动问题的分析方法

1.［2019 江西红色七校二模,33(2)］如图,粗细均匀的弯曲玻璃管 AB 两端开口,管内有一段水银柱,左管内水银面与管口 A 之间气体柱长为 $l_A=40$ cm,右管内气体柱长为$l_B=39$ cm。先将开口 B 封闭,再将左管竖直插入水银槽中,设被封闭的气体为理想气体,整个过程温度不变,若稳定后进入左管的水银面比水银槽水银面低 4 cm,已知大气压强 $p_0=76$ cmHg。求:



①A 端上方气柱长度;

②稳定后右管内的气体压强。

答案　①38 cm　②78 cmHg

解析　①以 cmHg 为单位,设稳定后 A 端上方气柱长度为 l_1,由题可知,插入水银槽中后,左管内气体压强为 $p_1=p_0+\rho g\Delta h=80$ cmHg

由玻意耳定律得 $p_0l_A=p_1l_1$

所以 A 端上方气柱长度为 $l_1=38$ cm

②设稳定后右管水银面上升 h,则右管内气柱长度为 l_B-h,气体压强为 $p_2=p_1-2\rho gh$

由玻意耳定律得 $p_0l_B=(p_1-2\rho gh)(l_B-h)$

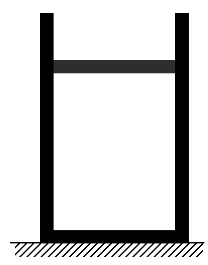
解得 $h=1$ cm

所以右管内气体压强为

$p_2=p_1-2\rho gh=78$ cmHg

方法 3　汽缸类问题的解题方法

1.［2018 东北三校联考,33(2)］一端开口且导热性能良好的汽缸固定在水平面上,如图所示,用质量和厚度均可忽略不计的活塞封闭一定质量的理想气体。系统平衡时,活塞与汽缸底部的距离为 $h_1=10$ cm;外界环境的温度保持不变,将质量分别为 $2m$ 和 m 的砝码甲、乙放在活塞上,系统再次平衡时活塞与汽缸底部的距离为 $h_2=5$ cm;现将汽缸内气体的温度缓缓升高 $\Delta t=60$ ℃,系统再次平衡时活塞与汽缸底部的距离为$h_3=6$ cm;然后拿走砝码甲,使汽缸内气体的温度再次缓缓升高 $\Delta t'=60$ ℃,系统平衡时活塞与汽缸底部的距离为 h_4。忽略活塞与汽缸之间的摩擦。



①最初汽缸内封闭的理想气体的温度 t_1 为多少摄氏度?

②最终活塞与汽缸底部的距离 h_4 为多少?

答案　①27 ℃　②10.5 cm

解析　①假设汽缸的横截面积为 S,气体初始状态的体积为 $V_1=h_1S$、压强为 $p_1=p_0$,温度为 T_1

将甲、乙两砝码放在活塞上后,气体体积为 $V_2=h_2S$、温度为 T_1、压强为 $p_2=p_0+\frac{3mg}{S}$

由玻意耳定律有 $p_1V_1=p_2V_2$

解得 $p_2=2p_1=2p_0$,则 $p_0=\frac{3mg}{S}$

汽缸内气体的温度缓缓地升高 $\Delta t=60$ ℃时,温度为 $T_3=T_1+60$ K、体积为 $V_3=h_3S$

由盖-吕萨克定律得$\frac{V_2}{T_1}=\frac{V_3}{T_3}$

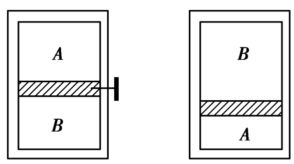
解得 $T_1=300$ K,即 $t_1=27$ ℃

②如果拿走砝码甲,使汽缸内气体的温度再次缓缓地升高 $\Delta t'=60$ ℃时,则此时气体压强为 $p_4=p_0+\frac{mg}{S}=\frac{4}{3}p_0$、体积为 $V_4=h_4S$、温度为 $T_4=T_1+\Delta t+\Delta t'=420$ K

由理想气体状态方程有$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_4V_4}{T_4}$

代入数据解得 $h_4=10.5$ cm

2.[2020届东北三省四市联考,33(2)]用销钉固定的导热活塞将竖直放置的导热汽缸分隔成 A、B 两部分,每部分都封闭有气体,此时 A、B 两部分气体压强之比为 5∶3,上下两部分气体体积相等。(外界温度保持不变,不计活塞和汽缸间的摩擦,整个过程不漏气)。



甲　　　　乙

(1)如图甲,若活塞为轻质活塞,拔去销钉后,待其重新稳定时 B 部分气体的体积与原来体积之比;

(2)如图乙,若活塞的质量为 M,横截面积为 S,拔去销钉并把汽缸倒置,稳定后 A、B 两部分气体体积之比为 1∶2,重力加速度为 g,求后来 B 气体的压强。

答案 (1)3∶4 (2)$\frac{3Mg}{7S}$

解析 本题考查了气体实验定律,体现了物理观念中的运动与相互作用要素。

(1)设拔去销钉之前 A 气体的体积为 V,由玻意耳定律得

$p_AV=p_A'(V+\Delta V)$,$p_BV=p_B'(V-\Delta V)$,

又 $p_A'=p_B'$,$\frac{p_A}{p_B}=\frac{5}{3}$

解得 $\Delta V=\frac{1}{4}V$,

则 B 部分气体体积与原来的体积之比为 3∶4

(2)初始状态:$\frac{p_A}{p_B}=\frac{5}{3}$

最终平衡状态:$p_A''=p_B''+\frac{Mg}{S}$

设汽缸总容积为 $V_总$,A、B 两部分气体做等温变化

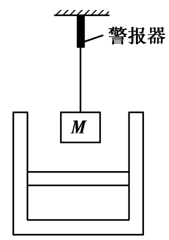
$p_A\frac{V_总}{2}=p_A''\frac{V_总}{3}$,$p_B\frac{V_总}{2}=p_B''\frac{2V_总}{3}$

联立得到 $p_B''=\frac{3Mg}{7S}$

3.[2019江西盟校一联,33(2)]为了更方便监控高温锅炉外壁的温度变化,在锅炉的外壁上镶嵌一个导热性能良好的汽缸,汽缸内气体温度可视为与锅炉外壁温度相等。汽缸开口向上,用质量为 $m=1$ kg 的活塞封闭一定质量的理想气体,活塞横截面积为 $S=1$ cm^2。当汽缸内温度为 300 K 时,活塞与汽缸底间距为 L,活塞上部距活塞 L 处有一用轻质绳悬挂的重物 M,当绳上拉力为零时,警报器报警。已知大气压强$p_0=1.0\times10^5$ Pa,活塞与器壁之间摩擦可忽略,$g=10$ m/s^2。则:

(ⅰ)当活塞刚刚碰到重物时,锅炉外壁温度为多少?

(ⅱ)若锅炉外壁的安全温度为 900 K,那么重物的质量应是多少?



答案 (ⅰ)600 K (ⅱ)1 kg

解析 (ⅰ)活塞上升过程为等压变化,则

$V_1=LS$

$V_2=2LS$

$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$

得 $T_2=600$ K

(ⅱ)活塞碰到重物后到绳的拉力为零是等容过程,设重物质量为 M,则

$p_2S=p_0S+mg$

$p_3S=p_0S+(m+M)g$

$\frac{p_2}{T_2}=\frac{p_3}{T_3}$

可得 $M=1$ kg

2015-2019 5年高考 对应学生用书起始页码 282

A组 基础题组

1.[2018课标Ⅱ,33(1),5分](多选)对于实际的气体,下列说法正确的是 ( )

A.气体的内能包括气体分子的重力势能

B.气体的内能包括气体分子之间相互作用的势能

C.气体的内能包括气体整体运动的动能

D.气体的体积变化时,其内能可能不变

E.气体的内能包括气体分子热运动的动能

答案 BDE 本题考查气体的内能。

气体的内能是指所有气体分子的动能和分子间的势能之和,故A、C项错误。

知识归纳 气体的内能

对于质量一定的气体,所有分子的势能和动能之和等于气体的内能。对于理想气体,分子的势能可忽略不计。

2.[2015课标Ⅱ,33(1),5分](多选)关于扩散现象,下列说法正确的是 ( )

A.温度越高,扩散进行得越快

B.扩散现象是不同物质间的一种化学反应

C.扩散现象是由物质分子无规则运动产生的

D.扩散现象在气体、液体和固体中都能发生

E.液体中的扩散现象是由于液体的对流形成的

答案　**ACD**　扩散现象是分子无规则热运动的反映,C 正确,E 错误;温度越高,分子热运动越激烈,扩散越快,A 正确;气体、液体、固体的分子都在不停地进行着热运动,扩散现象在气体、液体和固体中都能发生,D 正确;在扩散现象中,分子本身结构没有发生变化,不属于化学变化,B 错误。

解题关键　扩散现象:不同物质能够彼此进入对方的现象。扩散现象是由物质分子的无规则运动产生的。固体、液体和气体中都能发生扩散现象。扩散现象的快慢与温度有关。

3.[2016 课标Ⅰ,33(1),5 分](多选)关于热力学定律,下列说法正确的是　(　　)

A.气体吸热后温度一定升高

B.对气体做功可以改变其内能

C.理想气体等压膨胀过程一定放热

D.热量不可能自发地从低温物体传到高温物体

E.如果两个系统分别与状态确定的第三个系统达到热平衡,那么这两个系统彼此之间也必定达到热平衡

答案　**BDE**　若气体吸热的同时对外做功,则其温度不一定升高,选项 A 错;做功是改变物体内能的途径之一,选项 B 正确;理想气体等压膨胀,气体对外做功,由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$ 知,气体温度升高,内能增加,故一定吸热,选项 C 错误;根据热力学第二定律知选项 D 正确;如果两个系统分别与状态确定的第三个系统达到热平衡,那么这两个系统与第三个系统的温度均相等,则这两个系统之间也必定达到热平衡,故选项 E 正确。

易错点拨　(1)吸放热与温度的升降没有直接因果关系;(2)内能改变的两个途径为热传递和做功;(3)分析等压膨胀过程的吸放热时要分析其内能的变化;(4)弄清热平衡的含义。

4.[2019 课标Ⅰ,33(1),5 分]某容器中的空气被光滑活塞封住,容器和活塞绝热性能良好,空气可视为理想气体。初始时容器中空气的温度与外界相同,压强大于外界。现使活塞缓慢移动,直至容器中的空气压强与外界相同。此时,容器中空气的温度________(填"高于""低于"或"等于")外界温度,容器中空气的密度________(填"大于""小于"或"等于")外界空气的密度。

答案　低于　大于

解析　本题通过理想气体状态变化过程考查了热力学定律与能量守恒定律,以及学生的综合分析与计算能力,体现了科学推理的核心素养要素。

由题意可知,封闭气体经历了绝热膨胀的过程,此过程中气体对外界做功,$W<0$,与外界的热交换为零,即 $Q=0$,则由热力学第一定律可知气体内能降低,而一定质量理想气体的内能只与温度有关,故其温度降低,即容器中空气的温度低于外界温度。由于此时容器中空气压强与外界相同,而温度低于外界温度,若假设容器中空气经历等压升温过程而达到与外界相同状态,由 $\frac{pV}{T}=C$ 可知其体积必然膨胀,则升温后的容器中空气密度必然比假设的等压升温过程前密度小,而假设的等压升温过程后容器中空气的密度等于外界空气密度,故此时容器中空气的密度大于外界空气的密度。

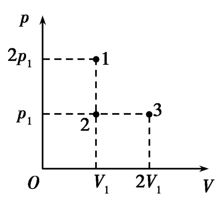
5.[2019 课标Ⅲ,33(1),5 分]用油膜法估算分子大小的实验中,首先需将纯油酸稀释成一定浓度的油酸酒精溶液,稀释的目的是________________。实验中为了测量出一滴已知浓度的油酸酒精溶液中纯油酸的体积,可以________________。为得到油酸分子的直径,还需测量的物理量是________。

答案　使油酸在浅盘的水面上容易形成一块单分子层油膜　把油酸酒精溶液一滴一滴地滴入小量筒中,测出 1 mL 油酸酒精溶液的滴数,得到一滴溶液中纯油酸的体积　单分子层油膜的面积

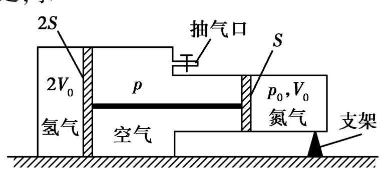
解析　本题考查了用油膜法估算分子大小的实验内容,突出了实验的操作、分析、探究能力的考查,体现了核心素养中科学探究、科学态度要素,体现了劳动实践、科学探索的价值观。

用油膜法估算分子大小,是用油膜厚度代表油酸分子的直径,所以要使油酸分子在水面上形成单分子层油膜;因为一滴溶液的体积很小,不能准确测量,故需测量较多滴的油酸酒精溶液的总体积,再除以滴数得到单滴溶液的体积,进而得到一滴溶液中纯油酸的体积;因为本题中油酸体积等于厚度乘面积,故测厚度不仅需要测量一滴溶液的体积,还需要测量单分子层油膜的面积。

6.(2019 课标Ⅱ,33,15 分)(1)如 $p-V$ 图所示,1、2、3 三个点代表某容器中一定量理想气体的三个不同状态,对应的温度分别是 T_1、T_2、T_3。用 N_1、N_2、N_3 分别表示这三个状态下气体分子在单位时间内撞击容器壁上单位面积的平均次数,则 N_1________N_2,T_1________T_3,N_2________N_3。(填"大于""小于"或"等于")



(2)如图,一容器由横截面积分别为 $2S$ 和 S 的两个汽缸连通而成,容器平放在水平地面上,汽缸内壁光滑。整个容器被通过刚性杆连接的两活塞分隔成三部分,分别充有氢气、空气和氮气。平衡时,氮气的压强和体积分别为 p_0 和 V_0,氢气的体积为 $2V_0$,空气的压强为 p。现缓慢地将中部的空气全部抽出,抽气过程中氢气和氮气的温度保持不变,活塞没有到达两汽缸的连接处,求



(ⅰ)抽气前氢气的压强;

(ⅱ)抽气后氢气的压强和体积。

答案　(1)大于　等于　大于

(2)(ⅰ)$\frac{1}{2}(p_0+p)$　(ⅱ)$\frac{1}{2}p_0+\frac{1}{4}p$　$\frac{4(p_0+p)V_0}{2p_0+p}$

解析　(1)本题考查气体的状态参量及理想气体状态方程的内容,考查学生对三个气体状态参量及气体实验定律的理解能力,培养学生物理观念素养的形成,提高学生对实验的认识。

由理想气体状态方程可得 $\frac{2p_1V_1}{T_1}=\frac{p_1V_1}{T_2}=\frac{p_1\cdot 2V_1}{T_3}$,可知 $T_1=T_3>T_2$。由状态 1 到状态 2,气体压强减小,气体体积相同,温度降低,则气体分子在单位时间内撞击容器壁上单位面积的平均次数减少,$N_1>N_2$。对状态 2 和状态 3,压强相同,温度大的次数少,则 $N_3<N_2$。

解题关键　准确理解"压强、温度、体积"三个气体状态参量,能对气体压强进行微观解释。

(2)本题考查气体的性质,是对学生综合分析能力要求较高的题目,也是对学生科学推理素养的考查。

(ⅰ)设抽气前氢气的压强为 p_{10},根据力的平衡条件得

$(p_{10}-p)\cdot 2S=(p_0-p)\cdot S$ ①

得 $p_{10}=\frac{1}{2}(p_0+p)$ ②

(ⅱ)设抽气后氢气的压强和体积分别为 p_1 和 V_1,氮气的压强和体积分别为 p_2 和 V_2。

根据力的平衡条件有 $p_2\cdot S=p_1\cdot 2S$ ③

由玻意耳定律得

$p_1V_1=p_{10}\cdot 2V_0$ ④

$p_2V_2=p_0V_0$ ⑤

由于两活塞用刚性杆连接,故

$V_1-2V_0=2(V_0-V_2)$ ⑥

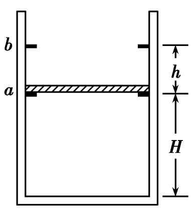
联立②③④⑤⑥式解得

$p_1=\frac{1}{2}p_0+\frac{1}{4}p$ ⑦

$V_1=\frac{4(p_0+p)V_0}{2p_0+p}$ ⑧

解题关键 ①准确写出活塞的平衡方程。②准确写出两部分气体的体积变化关系。

7.[2018 课标Ⅱ,33(2),10 分]如图,一竖直放置的汽缸上端开口,汽缸壁内有卡口 a 和 b,a、b 间距为 h,a 距缸底的高度为 H;活塞只能在 a、b 间移动,其下方密封有一定质量的理想气体。已知活塞质量为 m,面积为 S,厚度可忽略;活塞和汽缸壁均绝热,不计它们之间的摩擦。开始时活塞处于静止状态,上、下方气体压强均为 p_0,温度均为 T_0。现用电热丝缓慢加热汽缸中的气体,直至活塞刚好到达 b 处。求此时汽缸内气体的温度以及在此过程中气体对外所做的功。重力加速度大小为 g。



答案 $\left(1+\frac{h}{H}\right)\left(1+\frac{mg}{p_0S}\right)T_0$ $(p_0S+mg)h$

解析 本题考查气体实验定律等知识。

开始时活塞位于 a 处,加热后,汽缸中的气体先经历等容过程,直至活塞开始运动,设此时汽缸中气体的温度为 T_1,压强为 p_1,根据查理定律有

$\frac{p_0}{T_0}=\frac{p_1}{T_1}$ ①

根据力的平衡条件有

$p_1S=p_0S+mg$ ②

联立①②式可得

$T_1=\left(1+\frac{mg}{p_0S}\right)T_0$ ③

此后,汽缸中的气体经历等压过程,直至活塞刚好到达 b 处,设此时汽缸中气体的温度为 T_2;活塞位于 a 处和 b 处时气体的体积分别为 V_1 和 V_2。根据盖—吕萨克定律有

$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$ ④

式中

$V_1=SH$ ⑤

$V_2=S(H+h)$ ⑥

联立③④⑤⑥式解得

$T_2=\left(1+\frac{h}{H}\right)\left(1+\frac{mg}{p_0S}\right)T_0$ ⑦

从开始加热到活塞到达 b 处的过程中,汽缸中的气体对外做的功为

$W=(p_0S+mg)h$ ⑧

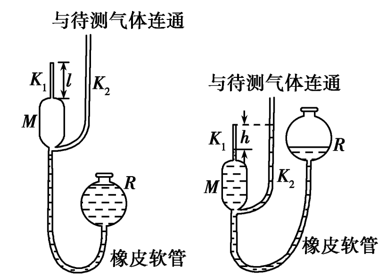
审题指导 抓住关键词,挖掘隐含条件。

"缓慢加热"表示活塞始终处于平衡状态,因此才有 $p_1S=p_0S+mg$。"活塞刚好到达 b 处",表示气体的末状态压强为 p_1,活塞与 b 卡口处无弹力作用。"绝热"时气体温度才能逐渐升高,若"导热良好","缓慢加热"时汽缸内、外的气体就始终处于热平衡状态。

8.[2017 课标Ⅲ,33(2),10 分]一种测量稀薄气体压强的仪器如图(a)所示,玻璃泡 M 的上端和下端分别连通两竖直玻璃细管 K_1 和 K_2。K_1 长为 l,顶端封闭,K_2 上端与待测气体连通;M 下端经橡皮软管与充有水银的容器 R 连通。开始测量时,M 与 K_2 相通;逐渐提升 R,直到 K_2 中水银面与 K_1 顶端等高,此时水银已进入 K_1,且 K_1 中水银面比顶端低 h,如图(b)所示。设测量过程中温度、与 K_2 相通的待测气体的压强均保持不变。已知 K_1 和 K_2 的内径均为 d,M 的容积为 V_0,水银的密度为 ρ,重力加速度大小为 g。求:

(ⅰ)待测气体的压强;

(ⅱ)该仪器能够测量的最大压强。



图(a) 图(b)

答案 (ⅰ)$\frac{\rho\pi gh^2d^2}{4V_0+\pi d^2(l-h)}$ (ⅱ)$\frac{\pi\rho gl^2d^2}{4V_0}$

解析 (ⅰ)水银面上升至 M 的下端使玻璃泡中气体恰好被封住,设此时被封闭的气体的体积为 V,压强等于待测气体的压强 p。提升 R,直到 K_2 中水银面与 K_1 顶端等高时,K_1 中水银面比顶端低 h;设此时封闭气体的压强为 p_1,体积为 V_1,则

$V=V_0+\frac{1}{4}\pi d^2l$ ①

$V_1=\frac{1}{4}\pi d^2h$ ②

由力的平衡条件得

$p_1=p+\rho gh$ ③

整个过程为等温过程,由玻意耳定律得

$pV=p_1V_1$ ④

联立①②③④式得

$p=\frac{\rho\pi gh^2d^2}{4V_0+\pi d^2(l-h)}$ ⑤

(ⅱ)由题意知

$h\leqslant l$ ⑥

联立⑤⑥式有

$p\leqslant\frac{\pi\rho gl^2d^2}{4V_0}$ ⑦

该仪器能够测量的最大压强为

$p_{max}=\frac{\pi\rho gl^2d^2}{4V_0}$ ⑧

9.[2016 课标Ⅰ,33(2),10 分]在水下气泡内空气的压强大于气泡表面外侧水的压强,两压强差 Δp 与气泡半径 r 之间的关系为 $\Delta p=\frac{2\sigma}{r}$,其中 $\sigma=0.070$ N/m。现让水下 10 m 处一半径为 0.50 cm 的气泡缓慢上升。已知大气压强 $p_0=1.0\times10^5$ Pa,水的

密度$\rho=1.0\times10^3\ kg/m^3$,重力加速度大小 $g=10\ m/s^2$。

(ⅰ)求在水下 10 m 处气泡内外的压强差;

(ⅱ)忽略水温随水深的变化,在气泡上升到十分接近水面时,求气泡的半径与其原来半径之比的近似值。

答案 (ⅰ)28 Pa (ⅱ)1.3

解析 (ⅰ)当气泡在水下 $h=10$ m 处时,设其半径为 r_1,气泡内外压强差为 Δp_1,则

$$\Delta p_1=\frac{2\sigma}{r_1} \qquad ①$$

代入题给数据得

$$\Delta p_1=28\ \text{Pa} \qquad ②$$

(ⅱ)设气泡在水下 10 m 处时,气泡内空气的压强为 p_1,气泡体积为 V_1;气泡到达水面附近时,气泡内空气的压强为 p_2,内外压强差为 Δp_2,其体积为 V_2,半径为 r_2。

气泡上升过程中温度不变,根据玻意耳定律有

$$p_1V_1=p_2V_2 \qquad ③$$

由力学平衡条件有

$$p_1=p_0+\rho gh+\Delta p_1 \qquad ④$$

$$p_2=p_0+\Delta p_2 \qquad ⑤$$

气泡体积 V_1 和 V_2 分别为

$$V_1=\frac{4}{3}\pi r_1^3 \qquad ⑥$$

$$V_2=\frac{4}{3}\pi r_2^3 \qquad ⑦$$

联立③④⑤⑥⑦式得

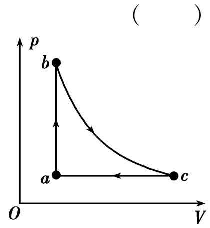
$$\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3=\frac{p_0+\Delta p_2}{\rho gh+p_0+\Delta p_1} \qquad ⑧$$

由②式知,$\Delta p_i\ll p_0$,$i=1,2$,故可略去⑧式中的 Δp_i 项。代入题给数据得

$$\frac{r_2}{r_1}=\sqrt[3]{2}\approx1.3 \qquad ⑨$$

B组 提升题组

1.[2017 课标Ⅲ,33(1),5 分](多选)如图,一定质量的理想气体从状态 a 出发,经过等容过程 ab 到达状态 b,再经过等温过程 bc 到达状态 c,最后经等压过程 ca 回到初态 a。下列说法正确的是 ( )



A.在过程 ab 中气体的内能增加

B.在过程 ca 中外界对气体做功

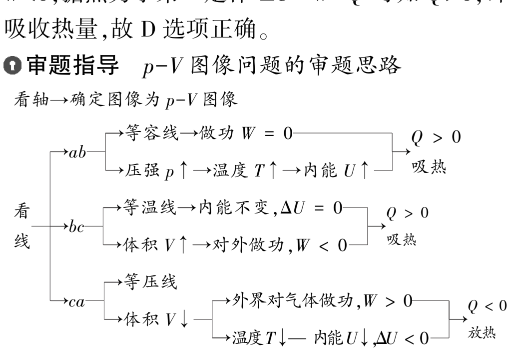
C.在过程 ab 中气体对外界做功

D.在过程 bc 中气体从外界吸收热量

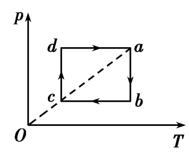
E.在过程 ca 中气体从外界吸收热量

答案 ABD 判断理想气体的内能变化情况可以通过两种方法:①根据热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$,通过判断做功和热传递来得出内能的变化情况;②通过直接判断温度的变化得出内能的变化情况。在过程 ab 中,V 不变,说明对外不做功,$W=0$,但不确定热传递情况,故利用热力学第一定律判断不出内能变化情况,那么看温度 T,一定质量的理想气体$\frac{pV}{T}$=定值,V 不变,压强 p 增大,则温度升高,说明内能增加,故 A 选项正确,C 选项错误。ca 过程中,体积 V 减小,说明外界对气体做功,故 B 选项正确。ca 过程中,压强 p 不变,据$\frac{pV}{T}$=定值可知,温度 T 降低,则其内能减小,即 $\Delta U<0$,外界对气体做功,即 $W>0$,据热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 可知 $Q<0$,说明此过程中,气体向外界放热,故 E 选项错误;bc 过程为等温变化,内能不变,即 $\Delta U=0$,而体积 V 增大,即气体对外做功,$W<0$,据热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 可知 $Q>0$,即气体从外界吸收热量,故 D 选项正确。

审题指导 $p-V$ 图像问题的审题思路



2.[2016 课标Ⅱ,33(1),5 分](多选)一定质量的理想气体从状态 a 开始,经历等温或等压过程 ab、bc、cd、da 回到原状态,其 $p-T$ 图像如图所示,其中对角线 ac 的延长线过原点 O。下列判断正确的是 ( )



A.气体在 a、c 两状态的体积相等

B.气体在状态 a 时的内能大于它在状态 c 时的内能

C.在过程 cd 中气体向外界放出的热量大于外界对气体做的功

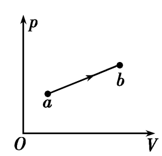
D.在过程 da 中气体从外界吸收的热量小于气体对外界做的功

E.在过程 bc 中外界对气体做的功等于在过程 da 中气体对外界做的功

答案 ABE 由理想气体状态方程$\frac{pV}{T}=C$ 知,$p=\frac{C}{V}T$,因此气体在 a、c 两状态的体积相等,故 A 项正确;对理想气体而言,内能由温度决定,因 $T_a>T_c$,故气体在状态 a 时的内能大于它在状态 c 时的内能,选项 B 正确;过程 cd 为等温变化,内能不变($\Delta U=0$),压强变大,体积减小,外界对气体做功($W>0$),由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$,知 $Q<0$,故为放热过程且 $W=|Q|$,C 选项错误;过程 da 为等压变化,温度升高,体积变大,气体的内能增大,$\Delta U>0$,对外做功,$W<0$,由 $\Delta U=W+Q$,知该过程吸热且 $Q>|W|$,选项 D 错误;bc 和 da 过程中温度改变量相同,故体积变化量与压强的乘积相同,由 $W=Fl=pSl=p\cdot\Delta V$ 知,选项 E 正确。

评析 本题考查了气体实验定律、$p-T$ 图像、热力学第一定律。试题涉及的过程多,有一定的难度。

3.(2018 课标Ⅲ,33,15 分)(1)如图,一定量的理想气体从状态 a 变化到状态 b,其过程如 $p-V$ 图中从 a 到 b 的直线所示。在此过程中________。

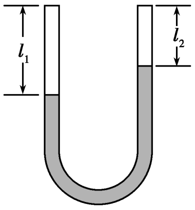


A.气体温度一直降低 B.气体内能一直增加

C.气体一直对外做功 D.气体一直从外界吸热

E.气体吸收的热量一直全部用于对外做功

(2)在两端封闭、粗细均匀的U形细玻璃管内有一段水银柱,水银柱的两端各封闭有一段空气。当U形管两端竖直朝上时,左、右两边空气柱的长度分别为 $l_1=18.0\text{ cm}$ 和 $l_2=12.0\text{ cm}$,左边气体的压强为12.0 cmHg。现将U形管缓慢平放在水平桌面上,没有气体从管的一边通过水银逸入另一边。求U形管平放时两边空气柱的长度。在整个过程中,气体温度不变。



答案 (1)BCD (2)见解析

解析 (1)本题考查热力学第一定律、理想气体状态方程。对于一定量的理想气体有 $\frac{pV}{T}=$ 恒量。从 a 到 b,p 逐渐增大,V 逐渐增大,所以 p 与 V 的乘积 pV 增大,可知 T 增大,则气体的内能一直增加,故A错误、B正确。由于 V 逐渐增大,可知气体一直对外做功,故C正确。由热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$,因 $\Delta U>0$,$W<0$,可知 $Q>0$,即气体一直从外界吸热,且吸收的热量大于对外做的功,故D正确、E错误。

知识归纳 热力学常见用语的含义

①理想气体温度升高:内能增大。

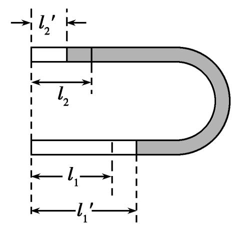
②气体体积增大:气体对外做功。气体体积减小:外界对气体做功。

③绝热:没有热交换。

④导热性能良好:表示与外界温度相同。

(2)本题考查气体实验定律。

设U形管两端竖直朝上时,左、右两边气体的压强分别为 p_1 和 p_2。U形管水平放置时,两边气体压强相等,设为 p,此时原左、右两边气柱长度分别变为 l_1' 和 l_2'。



由力的平衡条件有

$p_1=p_2+\rho g(l_1-l_2)$ ①

式中 ρ 为水银密度,g 为重力加速度大小。

由玻意耳定律有

$p_1l_1=pl_1'$ ②

$p_2l_2=pl_2'$ ③

两边气柱长度的变化量大小相等

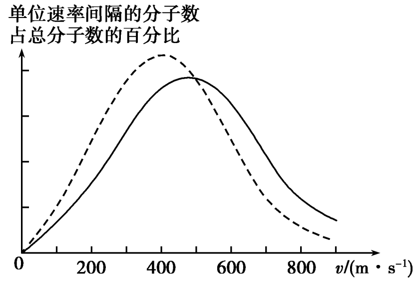
$l_1'-l_1=l_2-l_2'$ ④

由①②③④式和题给条件得

$l_1'=22.5\text{ cm}$ ⑤

$l_2'=7.5\text{ cm}$ ⑥

4.(2017课标Ⅰ,33,15分)(1)氧气分子在0 ℃和100 ℃温度下单位速率间隔的分子数占总分子数的百分比随气体分子速率的变化分别如图中两条曲线所示。下列说法正确的是____。



A.图中两条曲线下面积相等

B.图中虚线对应于氧气分子平均动能较小的情形

C.图中实线对应于氧气分子在100 ℃时的情形

D.图中曲线给出了任意速率区间的氧气分子数目

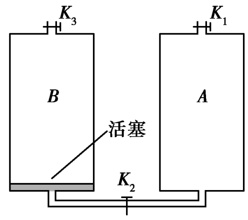
E.与0 ℃时相比,100 ℃时氧气分子速率出现在0~400 m/s区间内的分子数占总分子数的百分比较大

(2)如图,容积均为 V 的汽缸 A、B 下端有细管(容积可忽略)连通,阀门 K_2 位于细管的中部,A、B 的顶部各有一阀门 K_1、K_3,B 中有一可自由滑动的活塞(质量、体积均可忽略)。初始时,三个阀门均打开,活塞在 B 的底部;关闭 K_2、K_3,通过 K_1 给汽缸充气,使 A 中气体的压强达到大气压 p_0 的3倍后关闭 K_1。已知室温为27 ℃,汽缸导热。

(ⅰ)打开 K_2,求稳定时活塞上方气体的体积和压强;

(ⅱ)接着打开 K_3,求稳定时活塞的位置;

(ⅲ)再缓慢加热汽缸内气体使其温度升高20 ℃,求此时活塞下方气体的压强。



答案 (1)ABC

(2)(ⅰ)$\frac{V}{2}$ $2p_0$ (ⅱ)B 的顶部 (ⅲ)$1.6p_0$

解析 (1)本题考查气体分子速率及分布率。

每条曲线下面积的意义是各种速率的分子数总和占总分子数的百分比,故面积为1,A正确、D错误。气体温度越高,分子无规则运动越剧烈,分子平均动能越大,大速率的分子数所占总分子数的百分比越大,故虚线对应的温度较低,B、C皆正确。由图中0~400 m/s区间图线下的面积可知0 ℃时出现在0~400 m/s区间内的分子数占总分子数的百分比较大,E错误。

(2)本题考查气体实验定律。

(ⅰ)设打开 K_2 后,稳定时活塞上方气体的压强为 p_1,体积为 V_1。依题意,被活塞分开的两部分气体都经历等温过程。由玻意耳定律得

$p_0V=p_1V_1$ ①

$(3p_0)V=p_1(2V-V_1)$ ②

联立①②式得

$V_1=\frac{V}{2}$ ③

$p_1=2p_0$ ④

(ⅱ)打开 K_3 后,由④式知,活塞必定上升。设在活塞下方气体与 A 中气体的体积之和为 $V_2(V_2\leqslant 2V)$ 时,活塞下气体压强为 p_2。由玻意耳定律得

$(3p_0)V=p_2V_2$ ⑤

由⑤式得

$p_2=\frac{3V}{V_2}p_0$ ⑥

由⑥式知,打开 K_3 后活塞上升直到 B 的顶部为止;此时 p_2 为 $p_2'=\frac{3}{2}p_0$。

(ⅲ)设加热后活塞下方气体的压强为 p_3,气体温度从 $T_1=300\text{ K}$ 升高到 $T_2=320\text{ K}$ 的等容过程中,由查理定律得

$$\frac{p_2'}{T_1}=\frac{p_3}{T_2}$$ ⑦

将有关数据代入⑦式得

$p_3=1.6p_0$ ⑧

思路点拨　活塞封闭的气体

通过分析活塞的受力,利用平衡条件可获得活塞两侧气体压强之间的关系。注意轻质物体在任意状态下所受合外力均为 0。

5.[2017 课标Ⅱ,33(2),10 分]一热气球体积为 V,内部充有温度为 T_a 的热空气,气球外冷空气的温度为 T_b。已知空气在 1 个大气压、温度 T_0 时的密度为 ρ_0,该气球内、外的气压始终都为 1 个大气压,重力加速度大小为 g。

(ⅰ)求该热气球所受浮力的大小;

(ⅱ)求该热气球内空气所受的重力;

(ⅲ)设充气前热气球的质量为 m_0,求充气后它还能托起的最大质量。

答案　(ⅰ)$Vg\rho_0\frac{T_0}{T_b}$　(ⅱ)$Vg\rho_0\frac{T_0}{T_a}$

(ⅲ)$V\rho_0T_0(\frac{1}{T_b}-\frac{1}{T_a})-m_0$

解析　(ⅰ)设 1 个大气压下质量为 m 的空气在温度为 T_0 时的体积为 V_0,密度为

$$\rho_0=\frac{m}{V_0}$$ ①

在温度为 T 时的体积为 V_T,密度为

$$\rho(T)=\frac{m}{V_T}$$ ②

由盖—吕萨克定律得

$$\frac{V_0}{T_0}=\frac{V_T}{T}$$ ③

联立①②③式得

$$\rho(T)=\rho_0\frac{T_0}{T}$$ ④

气球所受到的浮力为

$f=\rho(T_b)gV$ ⑤

联立④⑤式得

$$f=Vg\rho_0\frac{T_0}{T_b}$$ ⑥

(ⅱ)气球内热空气所受的重力为

$G=\rho(T_a)Vg$ ⑦

联立④⑦式得 $G=Vg\rho_0\frac{T_0}{T_a}$ ⑧

(ⅲ)设该气球还能托起的最大质量为 m,由力的平衡条件得

$mg=f-G-m_0g$ ⑨

联立⑥⑧⑨式得 $m=V\rho_0T_0(\frac{1}{T_b}-\frac{1}{T_a})-m_0$ ⑩

6.[2019 课标Ⅰ,33(2),10 分]热等静压设备广泛应用于材料加工中。该设备工作时,先在室温下把惰性气体用压缩机压入到一个预抽真空的炉腔中,然后炉腔升温,利用高温高气压环境对放入炉腔中的材料加工处理,改善其性能。一台热等静压设备的炉腔中某次放入固体材料后剩余的容积为 0.13 m^3,炉腔抽真空后,在室温下用压缩机将 10 瓶氩气压入到炉腔中。已知每瓶氩气的容积为 3.2×10^{-2} m^3,使用前瓶中气体压强为 1.5×10^7 Pa,使用后瓶中剩余气体压强为 2.0×10^6 Pa;室温温度为 27 ℃。氩气可视为理想气体。

(ⅰ)求压入氩气后炉腔中气体在室温下的压强;

(ⅱ)将压入氩气后的炉腔加热到 1 227 ℃,求此时炉腔中气体的压强。

答案　(ⅰ)3.2×10^7 Pa　(ⅱ)1.6×10^8 Pa

解析　(ⅰ)设初始时每瓶气体的体积为 V_0,压强为 p_0;使用后气瓶中剩余气体的压强为 p_1。假设体积为 V_0、压强为 p_0 的气体压强变为 p_1 时,其体积膨胀为 V_1。由玻意耳定律

$p_0V_0=p_1V_1$ ①

被压入到炉腔的气体在室温和 p_1 条件下的体积为

$V_1'=V_1-V_0$ ②

设 10 瓶气体压入完成后炉腔中气体的压强为 p_2,体积为 V_2。由玻意耳定律

$p_2V_2=10p_1V_1'$ ③

联立①②③式并代入题给数据得

$p_2=3.2\times10^7$ Pa ④

(ⅱ)设加热前炉腔的温度为 T_0,加热后炉腔温度为 T_1,气体压强为 p_3。由查理定律

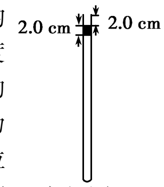
$$\frac{p_3}{T_1}=\frac{p_2}{T_0}$$ ⑤

联立④⑤式并代入题给数据得

$p_3=1.6\times10^8$ Pa ⑥

审题指导　(1)容器和活塞绝热性能良好,表明气体状态变化过程中与外界无热交换;(2)理想气体意味着质量一定时,其内能只与温度有关;(3)一定质量的气体,其密度与体积成反比,从而密度的比较可转换为同温同压下体积的比较。

7.[2019 课标Ⅲ,33(2),10 分]如图,一粗细均匀的细管开口向上竖直放置,管内有一段高度为 2.0 cm 的水银柱,水银柱下密封了一定量的理想气体,水银柱上表面到管口的距离为 2.0 cm。若将细管倒置,水银柱下表面恰好位于管口处,且无水银滴落,管内气体温度与环境温度相同。已知大气压强为 76 cmHg,环境温度为 296 K。



(ⅰ)求细管的长度;

(ⅱ)若在倒置前,缓慢加热管内被密封的气体,直到水银柱的上表面恰好与管口平齐为止,求此时密封气体的温度。

答案　(ⅰ)41 cm　(ⅱ)312 K

解析　本题考查了气体实验定律内容,培养学生的综合分析能力、应用数学知识处理物理问题的能力,体现了核心素养中的科学推理要素。

(ⅰ)设细管的长度为 L,横截面的面积为 S,水银柱高度为 h;初始时,设水银柱上表面到管口的距离为 h_1,被密封气体的体积为 V,压强为 p;细管倒置时,气体体积为 V_1,压强为 p_1。由玻意耳定律有

$pV=p_1V_1$ ①

由力的平衡条件有

$p=p_0+\rho gh$ ②

$p_1=p_0-\rho gh$ ③

式中,ρ、g 分别为水银的密度和重力加速度的大小,p_0 为大气压强。由题意有

$V=S(L-h_1-h)$ ④

$V_1=S(L-h)$ ⑤

由①②③④⑤式和题给条件得

$L=41$ cm ⑥

(ⅱ)设气体被加热前后的温度分别为 T_0 和 T,由盖-吕萨克定律有

$\frac{V}{T_0}=\frac{V_1}{T}$ ⑦

由④⑤⑥⑦式和题给数据得

$T=312\ K$ ⑧

易错警示 (1)研究对象是封闭部分的气体,计算气体压强时应注意气体压强、外部大气压强还有液柱压强之间的关系。(2)计算气体体积时,2 cm是细管中气体长度的变化量,同时计算细管中气体长度时不能遗漏液柱长度2 cm。(3)缓慢加热时液柱缓慢移动,可以认为液柱处于平衡状态。

8.[2016课标Ⅱ,33(2),10分]一氧气瓶的容积为0.08 m³,开始时瓶中氧气的压强为20个大气压。某实验室每天消耗1个大气压的氧气0.36 m³。当氧气瓶中的压强降低到2个大气压时,需重新充气。若氧气的温度保持不变,求这瓶氧气重新充气前可供该实验室使用多少天。

答案 4天

解析 设氧气开始时的压强为p_1,体积为V_1,压强变为p_2(2个大气压)时,体积为V_2。根据玻意耳定律得

$p_1V_1=p_2V_2$ ①

重新充气前,用去的氧气在p_2压强下的体积为

$V_3=V_2-V_1$ ②

设用去的氧气在p_0(1个大气压)压强下的体积为V_0,则有

$p_2V_3=p_0V_0$ ③

设实验室每天用去的氧气在p_0下的体积为ΔV,则氧气可用的天数为$N=V_0/\Delta V$ ④

联立①②③④式,并代入数据得

$N=4$(天) ⑤

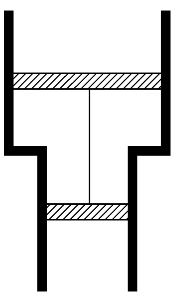
解题指导 解答此题的关键是将用去的氧气在p_2状态下的体积转化为在p_0(1个大气压)状态下的体积,从而可以计算出氧气在p_0下的可用天数。

易错点拨 没有将开始时氧气的体积转化为1个大气压下的体积而直接进行计算,不在同一状态的气体,不能直接进行计算。

9.[2015课标Ⅰ,33(2),10分]如图,一固定的竖直汽缸由一大一小两个同轴圆筒组成,两圆筒中各有一个活塞。已知大活塞的质量为$m_1=2.50\ kg$,横截面积为$S_1=80.0\ cm^2$;小活塞的质量为$m_2=1.50\ kg$,横截面积为$S_2=40.0\ cm^2$;两活塞用刚性轻杆连接,间距保持为$l=40.0\ cm$;汽缸外大气的压强为$p=1.00\times10^5\ Pa$,温度为$T=303\ K$。初始时大活塞与大圆筒底部相距$\frac{l}{2}$,两活塞间封闭气体的温度为$T_1=495\ K$。现汽缸内气体温度缓慢下降,活塞缓慢下移。忽略两活塞与汽缸壁之间的摩擦,重力加速度大小g取$10\ m/s^2$。求

(ⅰ)在大活塞与大圆筒底部接触前的瞬间,缸内封闭气体的温度;

(ⅱ)缸内封闭的气体与缸外大气达到热平衡时,缸内封闭气体的压强。



答案 (ⅰ)330 K (ⅱ)$1.01\times10^5\ Pa$

解析 (ⅰ)设初始时气体体积为V_1,在大活塞与大圆筒底部接触前的瞬间,缸内封闭气体的体积为V_2,温度为T_2。由题给条件得

$V_1=S_2\left(l-\frac{l}{2}\right)+S_1\frac{l}{2}$ ①

$V_2=S_2l$ ②

在活塞缓慢下移的过程中,用p_1表示缸内气体的压强,由力的平衡条件得

$S_1(p_1-p)=m_1g+m_2g+S_2(p_1-p)$ ③

故缸内气体的压强不变。由盖—吕萨克定律有

$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$ ④

联立①②④式并代入题给数据得

$T_2=330\ K$ ⑤

(ⅱ)在大活塞与大圆筒底部刚接触时,被封闭气体的压强为p_1。在此后与汽缸外大气达到热平衡的过程中,被封闭气体的体积不变。设达到热平衡时被封闭气体的压强为p',由查理定律,有

$\frac{p'}{T}=\frac{p_1}{T_2}$ ⑥

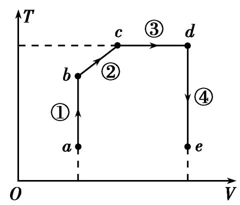
联立③⑤⑥式并代入题给数据得

$p'=1.01\times10^5\ Pa$ ⑦

评分细则 第(ⅰ)问6分,①②式各1分,③式2分,④⑤式各1分;第(ⅱ)问4分,⑥⑦式各2分。

审题指导 (ⅰ)在大活塞与大圆筒底部接触前的过程,由于大气压不变,活塞重力不变,又忽略摩擦力,则缸内气体为等压变化,遵守盖—吕萨克定律。(ⅱ)大活塞被卡住以后,气体体积不再变化,则封闭气体遵守查理定律。

10.(2018课标Ⅰ,33,15分)(1)如图,一定质量的理想气体从状态a开始,经历过程①、②、③、④到达状态e。对此气体,下列说法正确的是______(选对1个得2分,选对2个得4分,选对3个得5分;每选错1个扣3分,最低得分为0分)。



A.过程①中气体的压强逐渐减小

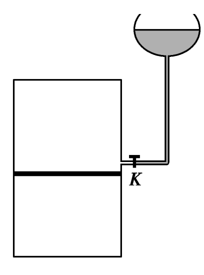
B.过程②中气体对外界做正功

C.过程④中气体从外界吸收了热量

D.状态c、d的内能相等

E.状态d的压强比状态b的压强小

(2)如图,容积为V的汽缸由导热材料制成,面积为S的活塞将汽缸分成容积相等的上下两部分,汽缸上部通过细管与装有某种液体的容器相连,细管上有一阀门K。开始时,K关闭,汽缸内上下两部分气体的压强均为p_0。现将K打开,容器内的液体缓慢地流入汽缸,当流入的液体体积为$\frac{V}{8}$时,将K关闭,活塞平衡时其下方气体的体积减小了$\frac{V}{6}$。不计活塞的质量和体积,外界温度保持不变,重力加速度大小为g。求流入汽缸内液体的质量。



答案　(1)BDE　(2)$\frac{15p_0S}{26g}$

解析　(1)本题考查气体实验定律、理想气体状态方程。

过程①是等容升温过程,由$\frac{p_a}{T_a}=\frac{p_b}{T_b}$,可知压强逐渐增大,A项错误。过程②中气体膨胀,故气体对外界做正功,B项正确。过程④为等容降温过程,气体向外放出热量,C项错误。一定质量的理想气体的内能只与温度有关,而$T_c=T_d$,所以状态c、d的内能相等,D项正确。由理想气体状态方程$\frac{pV}{T}=C$得$p=C\frac{T}{V}$,由题图可知$\frac{T_b}{V_b}>\frac{T_d}{V_d}$,则$p_b>p_d$,E项正确。

审题指导　图像语言的理解,物理情景的构建

清晰理解①②③④过程的规律,明确a、b、c、d、e各状态下气体状态参量关系。物体的内能与物体的质量、物态、温度及体积有关,而一定质量的理想气体的内能只与T有关。

(2)本题考查气体实验定律、气体压强计算等知识。

设活塞再次平衡后,活塞上方气体的体积为V_1,压强为p_1;下方气体的体积为V_2,压强为p_2。在活塞下移的过程中,活塞上、下方气体的温度均保持不变,由玻意耳定律得

$$p_0\frac{V}{2}=p_1V_1 \quad ①$$

$$p_0\frac{V}{2}=p_2V_2 \quad ②$$

由已知条件得

$$V_1=\frac{V}{2}+\frac{V}{6}-\frac{V}{8}=\frac{13}{24}V \quad ③$$

$$V_2=\frac{V}{2}-\frac{V}{6}=\frac{V}{3} \quad ④$$

设活塞上方液体的质量为m,由力的平衡条件得

$$p_2S=p_1S+mg \quad ⑤$$

联立以上各式得

$$m=\frac{15p_0S}{26g} \quad ⑥$$

审题指导　关键词理解,隐含条件显性化

①关键词"导热"说明气体上下两部分温度相等,且与环境温度相同。

②外界温度保持不变,说明气体做等温变化。

③流入液体产生的压强$p'=\frac{mg}{S}$。

④K关闭,说明外部液体对气体压强不产生影响。

C组　教师专用题组

1.(2019北京理综,15,6分)下列说法正确的是　(　　)

A.温度标志着物体内大量分子热运动的剧烈程度

B.内能是物体中所有分子热运动所具有的动能的总和

C.气体压强仅与气体分子的平均动能有关

D.气体膨胀对外做功且温度降低,分子的平均动能可能不变

答案　A　本题为热学中的基本概念的辨析问题,主要考查考生对物理观念的理解能力,体现了能量观念、模型建构等核心素养。

温度是分子平均动能的标志,故A项正确;内能是所有分子的分子动能与分子势能的总和,B错误;气体压强与气体分子的平均动能和分子密集程度有关,故C错误;气体温度降低,则气体分子的平均动能减小,故D错误。

试题评析　物理观念是物理学科重要的核心素养之一,体现着人们对客观事实的基本认识。这些认识往往以基本的物理概念呈现,是否牢固掌握这些概念,体现着对物理认识水平的高低,所以用辨析题目考查这些概念是高考中的常见形式。

2.(2018北京理综,14,6分)关于分子动理论,下列说法正确的是　(　　)

A.气体扩散的快慢与温度无关

B.布朗运动是液体分子的无规则运动

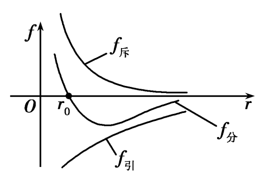
C.分子间同时存在着引力和斥力

D.分子间的引力总是随分子间距增大而增大

答案　C　本题考查分子动理论。温度是分子热运动平均动能的标志,温度越高,分子运动越剧烈,气体扩散越快,A错;布朗运动是悬浮在液体中的固体小颗粒的运动,不是液体分子的运动,B错;分子间同时存在着引力和斥力,且随着分子间距的增大,引力和斥力均减小,故C对、D错。

易错点拨　分子力与分子间距离的关系

分子间同时存在引力与斥力,两力的大小均与分子间距有关,分子力是指这两个力的合力,下图为斥力$f_{斥}$、引力$f_{引}$及分子力$f_{分}$随分子间距离r的变化关系图线。



3.[2014课标Ⅱ,33(1),5分](多选)下列说法正确的是　(　　)

A.悬浮在水中的花粉的布朗运动反映了花粉分子的热运动

B.空中的小雨滴呈球形是水的表面张力作用的结果

C.彩色液晶显示器利用了液晶的光学性质具有各向异性的特点

D.高原地区水的沸点较低,这是高原地区温度较低的缘故

E.干湿泡湿度计的湿泡显示的温度低于干泡显示的温度,这是湿泡外纱布中的水蒸发吸热的结果

答案　BCE　水中花粉的布朗运动,反映的是水分子的热运动规律,则A项错。正是表面张力使空中雨滴呈球形,则B项正确。液晶的光学性质是各向异性,液晶显示器正是利用了这种性质,C项正确。高原地区大气压较低,对应的水的沸点较低,D项错误。因为纱布中的水蒸发吸热,则同样环境下湿泡显示的温度较低,E项正确。

4.[2019江苏单科,13A(1)](多选)在没有外界影响的情况下,密闭容器内的理想气体静置足够长时间后,该气体　(　　)

A.分子的无规则运动停息下来

B.每个分子的速度大小均相等

C.分子的平均动能保持不变

D.分子的密集程度保持不变

答案　CD　本题考查了分子动理论与学生对分子动理论基本内容的理解能力,体现了运动与相互作用观念的素养要素。

由分子动理论的基本内容可知,分子永不停息地做无规则运动,选项A错误;在无外界影响下,静置的理想气体温度不变,因此分子的平均动能不变,但每个分子的速度大小无法确

定,选项B错误,C正确;因静置足够长时间,分子无规则运动在各个位置的概率相等,故分子的密集程度保持不变,选项D正确。

5.(2017上海单科,8,3分)一个密闭容器由固定导热板分隔为体积相同的两部分,分别装有质量不等的同种气体。当两部分气体稳定后,它们的　　(　　)

A.密度相同　　B.分子数相同

C.分子平均速率相同　　D.分子间平均距离相同

答案　C　本题考查温度的微观意义。根据$\rho=\frac{m}{V}$可知,m不等,V相等,则ρ不相等,A项错误。质量不等的同种气体的分子数不相等,B项错误。当两部分气体稳定后,二者的温度是相等的,故同种气体分子的平均速率相同,C项正确。同体积、不同质量的同种气体分子间距不相同,D项错误。

审题指导　温度的微观意义

题目中的关键词是"固定导热板"。"固定"说明两部分气体的体积不变。"导热"说明有热传递发生,稳定后两部分气体的温度相同。再结合温度是分子平均动能的标志解题。

6.[2015福建理综,29(1),6分]下列有关分子动理论和物质结构的认识,其中正确的是　　(　　)

A.分子间距离减小时分子势能一定减小

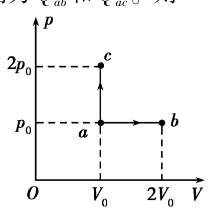
B.温度越高,物体中分子无规则运动越剧烈

C.物体内热运动速率大的分子数占总分子数比例与温度无关

D.非晶体的物理性质各向同性而晶体的物理性质都是各向异性

答案　B　在分子间作用力表现为斥力时,随着分子间距离的减小分子势能增大,选项A错误;温度越高,物体中分子无规则运动越剧烈,选项B正确;物体内热运动速率大的分子数占总分子数比例随温度升高而增多,选项C错误;单晶体的物理性质是各向异性,而多晶体则是各向同性的,选项D错误。

7.[2015福建理综,29(2),6分]如图,一定质量的理想气体,由状态a经过ab过程到达状态b或者经过ac过程到达状态c。设气体在状态b和状态c的温度分别为T_b和T_c,在过程ab和ac中吸收的热量分别为Q_{ab}和Q_{ac}。则　　(　　)



A.$T_b>T_c,Q_{ab}>Q_{ac}$　　B.$T_b>T_c,Q_{ab}<Q_{ac}$

C.$T_b=T_c,Q_{ab}>Q_{ac}$　　D.$T_b=T_c,Q_{ab}<Q_{ac}$

答案　C　由理想气体状态方程知$\frac{2p_0\cdot V_0}{T_c}=\frac{p_0V_0}{T_a}=\frac{p_0\cdot 2V_0}{T_b}$,故$T_c=T_b$;过程$ab$和$ac$中内能改变量相同,$ac$过程气体体积不变,做功为0,$W_1=0$,$ab$过程气体体积增大,气体对外做功$W_2<0$,由热力学第一定律$Q+W=\Delta U$知$Q_{ac}<Q_{ab}$,选项C正确。

8.[2015重庆理综,10(1),6分]某驾驶员发现中午时车胎内的气压高于清晨时的,且车胎体积增大。若这段时间胎内气体质量不变且可视为理想气体,那么　　(　　)

A.外界对胎内气体做功,气体内能减小

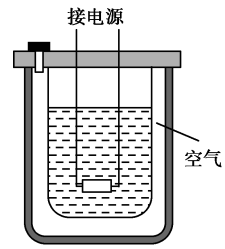
B.外界对胎内气体做功,气体内能增大

C.胎内气体对外界做功,内能减小

D.胎内气体对外界做功,内能增大

答案　D　中午比清晨时温度高,所以中午胎内气体分子平均动能增大,理想气体的内能由分子动能决定,因此内能增大;车胎体积增大,则胎内气体对外界做功,所以只有D项正确。

9.(2015广东理综,17,6分)(多选)图为某实验器材的结构示意图,金属内筒和隔热外筒间封闭了一定体积的空气,内筒中有水,在水加热升温的过程中,被封闭的空气　　(　　)



A.内能增大

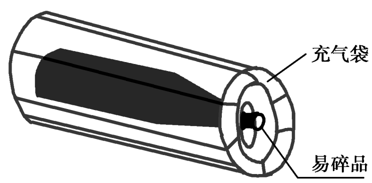
B.压强增大

C.分子间引力和斥力都减小

D.所有分子运动速率都增大

答案　AB　由于金属内筒导热而隔热外筒绝热,故水升温过程中封闭空气不停地从内筒吸收热量而不向外放热,且封闭空气的体积不能改变即不做功,故由热力学第一定律可知其内能一定增大,A正确;由$\frac{pV}{T}=C$知温度升高时封闭空气的压强一定增大,B正确;气体分子间作用力微弱,即使考虑分子间作用力,也因气体体积不变,分子间平均距离不变,某两分子间距离变化情况不能确定,而不能判定分子间作用力变化情况,C错误;温度升高时,分子平均动能增大,但这并不意味着每个分子的运动速率都增大,D错误。

10.(2014广东理综,17,6分)(多选)用密封性好、充满气体的塑料袋包裹易碎品,如图所示,充气袋四周被挤压时,假设袋内气体与外界无热交换,则袋内气体　　(　　)



A.体积减小,内能增大　　B.体积减小,压强减小

C.对外界做负功,内能增大　　D.对外界做正功,压强减小

答案　AC　袋内气体与外界无热交换即$Q=0$,袋四周被挤压时,体积V减小,外界对气体做正功,根据热力学第一定律$\Delta U=W+Q$,气体内能增大,则温度升高,由$\frac{pV}{T}=C$知压强增大,选项A、C正确,B、D错误。

11.(2016北京理综,20,6分)雾霾天气是对大气中各种悬浮颗粒物含量超标的笼统表述,是特定气候条件与人类活动相互作用的结果。雾霾中,各种悬浮颗粒物形状不规则,但可视为密度相同、直径不同的球体,并用PM10、PM2.5分别表示球体直径小于或等于10 μm、2.5 μm的颗粒物(PM是颗粒物的英文缩写)。

某科研机构对北京地区的检测结果表明,在静稳的雾霾天气中,近地面高度百米的范围内,PM10的浓度随高度的增加略有减小,大于PM10的大悬浮颗粒物的浓度随高度的增加明显减小,且两种浓度分布基本不随时间变化。

据此材料,以下叙述正确的是　　(　　)

A.PM10表示直径小于或等于1.0×10^{-6} m的悬浮颗粒物

B.PM10受到的空气分子作用力的合力始终大于其所受到的重力

C.PM10和大悬浮颗粒物都在做布朗运动

D.PM2.5的浓度随高度的增加逐渐增大

答案　C　PM10 的直径小于或等于 10×10^{-6} m $=1.0\times10^{-5}$ m,A 错误;处于静稳态的颗粒受力平衡,B 错误;布朗运动是悬浮颗粒物的无规则运动,C 正确;根据题意不能判断 PM2.5 的浓度随高度的增加而增大,D 错误。

失分警示　本题易错选 D 而失分,题目中明确提出"近地面高度百米的范围内,PM10 的浓度随高度的增加略有减小,大于 PM10 的大悬浮颗粒物的浓度随高度的增加明显减小",并没有明确 PM2.5 的浓度随高度的变化情况。

12.(2014 北京理综,13,6 分)下列说法中正确的是　(　　)

A.物体温度降低,其分子热运动的平均动能增大

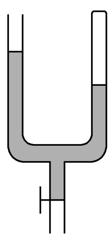
B.物体温度升高,其分子热运动的平均动能增大

C.物体温度降低,其内能一定增大

D.物体温度不变,其内能一定不变

答案　B　温度是物体分子平均动能的标志,温度升高则其分子平均动能增大,反之,则其分子平均动能减小,故 A 错误 B 正确。物体的内能是物体内所有分子动能和分子势能的总和,宏观上取决于物体的温度、体积和质量,故 C、D 错误。

13.(2017 上海单科,12,4 分)如图,竖直放置的 U 形管内装有水银,左端开口,右端封闭一定量的气体,底部有一阀门。开始时阀门关闭,左管的水银面较高。现打开阀门,流出一些水银后关闭阀门。当重新平衡时　(　　)



A.左管的水银面与右管等高

B.左管的水银面比右管的高

C.左管的水银面比右管的低

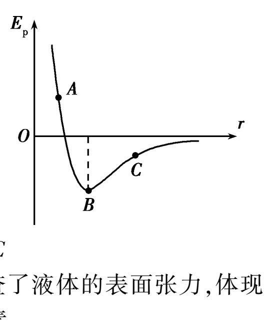
D.水银面高度关系无法判断

答案　D　本题考查气体状态参量、气体实验定律。初态时右侧封闭气体的压强 $p>p_0$,打开阀门,流出一些水银后关闭阀门,当重新平衡时,因封闭气体的体积变大,由 $pV=C$ 知压强 p 减小,因气体末态压强 p 有可能大于 p_0、等于 p_0 或小于 p_0,故左右两管水银面的高度关系无法判断,选项 D 正确。

易错点拨　$pV=C$ 的应用

本题易错点是误认为右侧管内气体压强保持不变或始终大于 p_0。因右侧管内气体封闭,由 $pV=C$ 可知,当 V 增大时 p 减小。

14.[2019 江苏单科,13A(2)]由于水的表面张力,荷叶上的小水滴总是球形的。在小水滴表面层中,水分子之间的相互作用总体上表现为________(选填"引力"或"斥力")。分子势能 E_p 和分子间距离 r 的关系图像如图所示,能总体上反映小水滴表面层中水分子 E_p 的是图中________(选填"A""B"或"C")的位置。

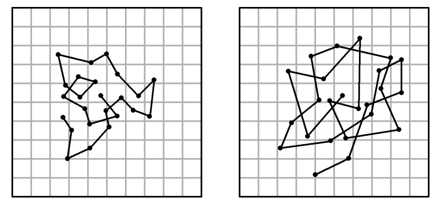


答案　引力　C

解析　本题考查了液体的表面张力,体现了运动和相互作用观念的素养要素。

液体表面层分子间距离大于液体内部分子间距离,则液体表面层分子间作用力表现为分子间引力。当分子间引力和斥力相等时分子势能最小,而此时分子力表现为引力,分子间距离应大于最小分子势能对应的距离,故应是图像中 C 位置。

15.[2017 江苏单科,12A(2),12 分]甲和乙图是某同学从资料中查到的两张记录水中炭粒运动位置连线的图片,记录炭粒位置的时间间隔均为 30 s,两方格纸每格表示的长度相同。比较两张图片可知:若水温相同,________(选填"甲"或"乙")中炭粒的颗粒较大;若炭粒大小相同,________(选填"甲"或"乙")中水分子的热运动较剧烈。



甲　　乙

答案　甲　乙

解析　本题考查布朗运动。相同温度的条件下,炭粒较大的其布朗运动的激烈程度较弱,炭粒在 30 s 始、末时刻所在位置连线的距离就较短,故甲图中炭粒的颗粒较大;炭粒大小相同时,温度越高,分子的热运动越剧烈,做布朗运动的炭粒运动也越剧烈,故乙中水分子的热运动较剧烈。

16.[2015 海南单科,15(1),4 分]已知地球大气层的厚度 h 远小于地球半径 R,空气平均摩尔质量为 M,阿伏加德罗常数为 N_A,地面大气压强为 p_0,重力加速度大小为 g。由此可估算得,地球大气层空气分子总数为________,空气分子之间的平均距离为________。

答案　$\dfrac{4\pi p_0N_AR^2}{Mg}$　$\sqrt[3]{\dfrac{Mgh}{p_0N_A}}$

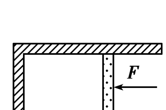
解析　可认为地球大气对地球表面的压力是由其重力引起的,即 $mg=p_0S=p_0\times4\pi R^2$,故大气层的空气总质量 $m=\dfrac{4\pi p_0R^2}{g}$,空气分子总数 $N=\dfrac{m}{M}N_A=\dfrac{4\pi p_0N_AR^2}{Mg}$。由于 $h\ll R$,则大气层的总体积 $V=4\pi R^2h$,每个分子所占空间设为一个棱长为 a 的正方体,则有 $Na^3=V$,可得分子间的平均距离 $a=\sqrt[3]{\dfrac{Mgh}{p_0N_A}}$。

17.[2015 江苏单科,12A(2)]在装有食品的包装袋中充入氮气,可以起到保质作用。某厂家为检测包装袋的密封性,在包装袋中充满一定量的氮气,然后密封进行加压测试。测试时,对包装袋缓慢地施加压力。将袋内的氮气视为理想气体,则加压测试过程中,包装袋内壁单位面积上所受气体分子撞击的作用力________(选填"增大"、"减小"或"不变"),包装袋内氮气的内能________(选填"增大"、"减小"或"不变")。

答案　增大　不变

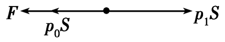
解析　对包装袋缓慢施加压力,袋内气体的温度不变,压强增大。所以包装袋内壁单位面积上所受气体分子的撞击力增大。理想气体的内能由气体分子的动能决定,而温度是分子平均动能的标志,所以,温度不变,气体内能不变。

18.(2017 上海单科,16)如图,汽缸固定于水平面,用截面积为 20 cm^2 的活塞封闭一定量的气体,活塞与缸壁间摩擦不计。当大气压强为 1.0×10^5 Pa、气体温度为 87 ℃时,活塞在大小为40 N、方向向左的力 F 作用下保持静止,气体压强为________Pa。若保持活塞不动,将气体温度降至 27 ℃,则 F 变为________N。



答案　1.2×10^5　0

解析 以活塞为研究对象,对其进行受力分析,如图所示(其中封闭气体的压强为 p_1)



由平衡条件可得 $F+p_0S=p_1S$

则 $p_1=p_0+\dfrac{F}{S}$

代入数据,得

$p_1=1.2\times10^5$ Pa

保持活塞不动,就意味着气体的体积没有发生变化,即气体发生的是等容变化,设气体温度降至27℃时的压强为 p_2,则

$\dfrac{p_1}{T_1}=\dfrac{p_2}{T_2}$

代入数据,得

$p_2=1.0\times10^5$ Pa

对活塞列平衡状态方程

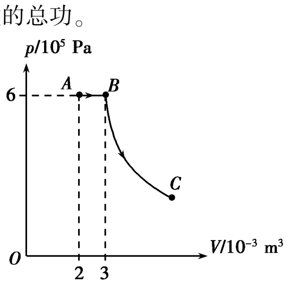
$F+p_0S=p_2S$

得 $F=0$ N

方法技巧 封闭气体压强的计算方法

在求解封闭气体压强时,一般选取活塞、液柱或容器为研究对象,对其进行受力分析。然后再根据其所处状态,列出相应的平衡状态方程或牛顿第二定律方程并进行求解。

19.[2019江苏单科,13A(3)]如图所示,一定质量理想气体经历 $A\to B$ 的等压过程,$B\to C$ 的绝热过程(气体与外界无热量交换),其中 $B\to C$ 过程中内能减少 900 J。求 $A\to B\to C$ 过程中气体对外界做的总功。



答案 1 500 J

解析 本题考查了热力学第一定律的应用与学生的综合分析能力和理解能力,体现了科学探究中的问题和证据的素养要素。

$A\to B$ 过程,$W_1=-p(V_B-V_A)$;$B\to C$ 过程,根据热力学第一定律,$W_2=\Delta U$;则气体对外界做的总功 $W=-(W_1+W_2)$,代入数据得 $W=1\ 500$ J。

审题指导 ①等压做功,$W_1=p\cdot\Delta V$。

②绝热过程中 $Q=0$,故 $W_2=\Delta U$。

20.[2014课标Ⅰ,33(2),9分]一定质量的理想气体被活塞封闭在竖直放置的圆柱形汽缸内,汽缸壁导热良好,活塞可沿汽缸壁无摩擦地滑动。开始时气体压强为 p,活塞下表面相对于汽缸底部的高度为 h,外界的温度为 T_0。现取质量为 m 的沙子缓慢地倒在活塞的上表面,沙子倒完时,活塞下降了 $h/4$。若此后外界的温度变为 T,求重新达到平衡后气体的体积。已知外界大气的压强始终保持不变,重力加速度大小为 g。

答案 $\dfrac{9mghT}{4pT_0}$

解析 设汽缸的横截面积为 S,沙子倒在活塞上后,对气体产生的压强为 Δp,由玻意耳定律得

$phS=(p+\Delta p)(h-\dfrac{1}{4}h)S$ ①

解得 $\Delta p=\dfrac{1}{3}p$ ②

外界的温度变为 T 后,设活塞距底面的高度为 h'。根据盖—吕萨克定律,得

$\dfrac{(h-\frac{1}{4}h)S}{T_0}=\dfrac{h'S}{T}$ ③

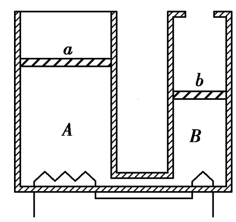
解得 $h'=\dfrac{3T}{4T_0}h$ ④

据题意可得 $\Delta p=\dfrac{mg}{S}$ ⑤

气体最后的体积为 $V=Sh'$ ⑥

联立②④⑤⑥式得 $V=\dfrac{9mghT}{4pT_0}$ ⑦

21.[2014课标Ⅱ,33(2),10分]如图,两汽缸 A、B 粗细均匀、等高且内壁光滑,其下部由体积可忽略的细管连通;A 的直径是 B 的2倍,A 上端封闭,B 上端与大气连通;两汽缸除 A 顶部导热外,其余部分均绝热。两汽缸中各有一厚度可忽略的绝热轻活塞 a、b,活塞下方充有氮气,活塞 a 上方充有氧气。当大气压为 p_0、外界和汽缸内气体温度均为7 ℃且平衡时,活塞 a 离汽缸顶的距离是汽缸高度的$\dfrac{1}{4}$,活塞 b 在汽缸正中间。



(ⅰ)现通过电阻丝缓慢加热氮气,当活塞 b 恰好升至顶部时,求氮气的温度;

(ⅱ)继续缓慢加热,使活塞 a 上升。当活塞 a 上升的距离是汽缸高度的$\dfrac{1}{16}$时,求氧气的压强。

答案 (ⅰ)320 K (ⅱ)$\dfrac{4}{3}p_0$

解析 (ⅰ)活塞 b 升至顶部的过程中,活塞 a 不动,活塞 a、b 下方的氮气经历等压过程。设汽缸 A 的容积为 V_0,氮气初态体积为 V_1,温度为 T_1;末态体积为 V_2,温度为 T_2。按题意,汽缸 B 的容积为 $V_0/4$,由题给数据和盖-吕萨克定律有

$V_1=\dfrac{3}{4}V_0+\dfrac{1}{2}\dfrac{V_0}{4}=\dfrac{7}{8}V_0$ ①

$V_2=\dfrac{3}{4}V_0+\dfrac{1}{4}V_0=V_0$ ②

$\dfrac{V_1}{T_1}=\dfrac{V_2}{T_2}$ ③

由①②③式和题给数据得

$T_2=320$ K ④

(ⅱ)活塞 b 升至顶部后,由于继续缓慢加热,活塞 a 开始向上移动,直至活塞上升的距离是汽缸高度的$\dfrac{1}{16}$时,活塞 a 上方的氧气经历等温过程。设氧气初态体积为 V_1',压强为 p_1';末态体积为 V_2',压强为 p_2'。由题给数据和玻意耳定律有

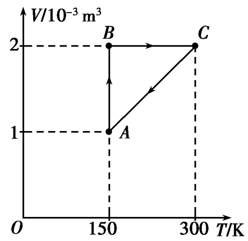
$V_1'=\dfrac{1}{4}V_0,p_1'=p_0,V_2'=\dfrac{3}{16}V_0$ ⑤

$p_1'V_1'=p_2'V_2'$ ⑥

由⑤⑥式得

$p_2'=\dfrac{4}{3}p_0$ ⑦

22.[2018 江苏单科,12A(3)]如图所示,一定质量的理想气体在状态 A 时压强为 2.0×10^5 Pa,经历 $A\to B\to C\to A$ 的过程,整个过程中对外界放出 61.4 J 热量。求该气体在 $A\to B$ 过程中对外界所做的功。



答案　138.6 J

解析　本题考查 $V-T$ 图像和热力学第一定律。

整个过程中,外界对气体做功

$W=W_{AB}+W_{CA}$,且 $W_{CA}=p_A(V_C-V_A)$

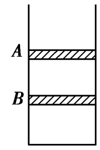
由热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 得 $W_{AB}=-(Q+W_{CA})$

代入数据得 $W_{AB}=-138.6$ J,即气体对外界做的功为138.6 J。

关联知识　气体状态变化图像与热力学定律综合

气体状态变化图像问题的分析技巧、理想气体内能改变的决定因素、等压变化过程气体做功 $W=p\Delta V$ 及热力学第一定律的综合应用。

23.[2015 海南单科,15(2),8分]如图,一底面积为 S、内壁光滑的圆柱形容器竖直放置在水平地面上,开口向上,内有两个质量均为 m 的相同活塞 A 和 B;在 A 与 B 之间、B 与容器底面之间分别封有一定量的同样的理想气体,平衡时体积均为 V。已知容器内气体温度始终不变,重力加速度大小为 g,外界大气压强为 p_0。现假设活塞 B 发生缓慢漏气,致使 B 最终与容器底面接触。求活塞 A 移动的距离。



答案　$\dfrac{mgV}{(p_0S+mg)S}$

解析　初始状态下 A、B 两部分气体的压强分别设为 p_{A0}、p_{B0},则对活塞 A、B 由平衡条件可得:

$p_0S+mg=p_{A0}S$　①

$p_{A0}S+mg=p_{B0}S$　②

最终状态下两部分气体融合在一起,压强设为 p,体积设为 V',对活塞 A 由平衡条件有

$p_0S+mg=pS$　③

对两部分气体由理想气体状态方程可得

$p_{A0}V+p_{B0}V=pV'$　④

设活塞 A 移动的距离为 h,则有

$V'=2V+hS$　⑤

联立以上五式可得

$h=\dfrac{mgV}{(p_0S+mg)S}$

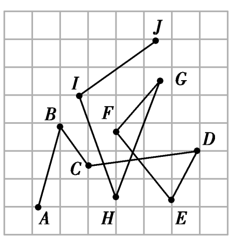
3年模拟 2018-2020

对应学生用书起始页码 286

时间:50 分钟　分值:80 分

一、选择题(每小题 6 分,共 36 分)

1.(2018 山西五市联考)(多选)小张在显微镜下观察水中悬浮的细微粉笔末的运动。从 A 点开始,他把粉笔末每隔 20 s 的位置记录在坐标纸上,依次得到 B、C、D…点,把这些点连线形成如图所示折线图,则关于该粉笔末的运动,下列说法正确的是　(　　)



A.该折线图是粉笔末的运动轨迹

B.粉笔末的无规则运动反映了水分子的无规则运动

C.经过 B 点后 10 s,粉笔末应该在 BC 的中点处

D.粉笔末由 B 到 C 的平均速度小于 C 到 D 的平均速度

E.若改变水的温度,再记录一张图,则仅从图上不能确定记录哪一张图时的温度高

答案　**BDE**　折线图是每隔 20 s 记录的粉笔末的位置的连线图,并非粉笔末的运动轨迹,A 项错误。粉笔末的无规则运动反映了水分子的无规则运动,B 项正确。由于布朗运动的无规则性,我们不能确定经过 B 点后 10 s 时粉笔末的具体位置,C 项错误。由 $\bar{v}=\dfrac{x}{t}$,因为 $x_{BC}<x_{CD}$,$t_{BC}=t_{CD}$,所以 D 项正确。改变水的温度,显然能改变水分子热运动的剧烈程度,但并不能改变布朗运动的无规则性,则仅从图上不能确定记录哪一张图时的温度高,E 项正确。

2.[2020 届湖北三市八校联考,33(1)](多选)下列说法正确的是　(　　)

A.在一定温度下,同种液体的饱和汽的分子数密度也会变化

B.把一枚针轻放在水面上,它会浮在水面。这是针的重力较小的缘故

C.处在液体表面层的分子与液体内部的分子相比有较大的势能

D.在毛细现象中,毛细管中的液面有的升高,有的降低,这与液体的种类和毛细管的材质有关

E.露水总是出现在夜间和清晨,原因是气温的变化使空气里原来饱和的水蒸气液化

答案　**CDE**　本题考查了分子间作用力在液体中的运用,体现了科学思维中的科学论证要素。

饱和汽的分子数密度仅由温度决定,温度越高,饱和汽的分子数密度越大,故 A 错误;由于液体表面张力的存在,针、硬币等能浮在水面上,故 B 错误;液体表面层的分子间距离大于液体内部分子间的距离,液体内部分子间作用力接近于零,分子间的引力势能随分子间距增大而增大,故 C 正确;毛细现象中有的液面升高,有的液面降低,这与液体的种类和毛细管的材质有关,故 D 正确;露水总是出现在夜间和清晨,是因为气温的变化使空气里原来饱和的水蒸气液化,故 E 正确。

3.[2019 河南开封一模,33(1)](多选)下列说法正确的是　(　　)

A.布朗运动不是液体分子的运动,但它是液体分子无规则运动的反映

B.让两个相距很远的分子在恒定的外力作用下靠到最近时,分子势能先减小后增大,分子力先增大后减小

C.温度升高,分子热运动加剧,分子运动的平均动能增大,所以空间分子密度相同时,温度高的压强大

D.当人们感到潮湿时,空气的绝对湿度一定较大

E.只从单一热源吸收热量并完全转化成机械能的机器是不存在的,不满足热力学第二定律

答案 **ACE** 布朗运动是悬浮在液体中微小颗粒的无规则运动,间接反映了液体分子的热运动,所以A正确;根据分子力的特点可以知道,从相距很远到很近的过程中,开始时分子力表现为分子引力,先增大后减小,后来表现为分子斥力,一直增大,所以分子势能先减小后增大,故B错误;温度是分子平均动能的标志,温度越高,分子的平均动能越大,分子运动越激烈,分子对器壁的平均撞击力越大,气体的压强与分子的平均撞击力以及分子的密度有关,所以空间分子密度相同时,温度高的压强大,所以C正确;人们对潮湿的感觉由空气的相对湿度决定,故D错误;只从单一热源吸收热量并完全转化成机械能的机器被称为第二类永动机,第二类永动机不能制成,是因其不满足热力学第二定律,故E正确。

4.[2019河南平顶山一模,33(1)](多选)下列说法正确的是 ( )

A.在车胎突然爆裂的瞬间,气体内能减少

B.凡是能量守恒的过程一定能够自发地发生

C.能量转化过程中,其总能量越来越小,所以要大力提倡节约能源

D.两个温度不同的物体相互接触,这两个物体组成的系统处于热的非平衡态

E.随着高度的增加,大气压和温度都在减小,一个正在上升的氢气球内的氢气内能减小

答案 **ADE** 在车胎突然爆裂的瞬间,气体与外界无热量交换,且气体对外做功,则气体内能减少,选项A正确;根据热力学第二定律可知,能量守恒的过程不一定能够自发地发生,选项B错误;能量转化过程中,总能量虽然守恒,但能利用的能源越来越少,所以要大力提倡节约能源,选项C错误;两个温度不同的物体相互接触,两物体间要发生热传递,这两个物体组成的系统处于热的非平衡态,选项D正确;随着高度的增加,大气压和温度都在减小,一个正在上升的氢气球内的氢气由于温度降低且对外做功,则氢气的内能减小,选项E正确。故选A、D、E。

5.(2020届河北石家庄质检)(多选)关于热力学定律,以下说法正确的是 ( )

A.热力学第一定律是能量守恒定律在热力学中的体现,否定了创造和消灭能量的可能性,告诉我们第一类永动机不可能制成

B.热力学第二定律反映了一切与热现象有关的宏观自然过程都具有方向性,告诉我们第二类永动机不可能制成

C.做功和热传递都能改变物体的内能,根据最后的结果可以区分是做功还是热传递使物体温度升高的

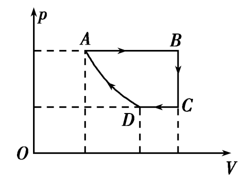
D.热力学第一定律指出内能可以与其他形式的能相互转化,热力学第二定律指出内能不可能完全转化为机械能,故二者是相互矛盾的

E.热力学第一定律和热力学第二定律分别从不同的角度揭示了与热现象有关的物理过程所遵循的规律,二者相互独立,又相互补充,都是热力学的理论基础

答案 **ABE** 本题考查了热力学定律,体现了物理观念中的能量要素。

做功和热传递都能改变物体的内能,根据最后的结果无法判断是做功还是热传递使物体温度升高的,选项C错误;热力学第一定律是能量守恒定律在热现象中的体现,热力学第二定律则指出了能量转化的方向性,二者并不矛盾,选项D错误。

6.[2019广西百色摸底调研,33(1)](多选)如图所示为一定质量的理想气体从状态$A\to B\to C\to D\to A$过程的p-V图像,其中$D\to A$为等温过程,下列说法正确的是 ( )



A.$A\to B$过程,气体吸收的热量大于对外做的功

B.$B\to C$过程,气体分子的平均速率减小

C.$C\to D$过程,气体分子碰撞容器器壁的平均作用力不变

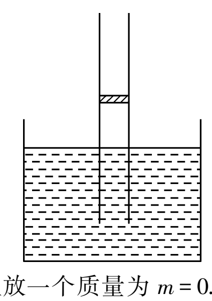
D.$D\to A$过程,气体放出的热量等于外界对气体做的功

E.$A\to B\to C\to D\to A$过程,气体既不吸热也不放热

答案 **ABD** $A\to B$过程,气体发生等压膨胀体积增大,温度升高,对外做功,内能增加,因此根据热力学第一定律可知,气体吸收的热量大于对外做的功,A项正确;$B\to C$过程,为等容变化,压强减小,温度降低,气体分子的平均动能减小,平均速率减小,B正确;$C\to D$过程,单位时间内气体分子碰撞容器器壁单位面积的次数增多,但压强不变,表明气体放出热量分子碰撞容器器壁的平均作用力减小,C项错误;$D\to A$过程,等温变化,气体内能不变,外界对气体做功,气体放出热量,气体放出的热量等于外界对气体做的功,D项正确;$A\to B\to C\to D\to A$过程,总的是气体对外界做功,由于从A点回到A点内能不变,因此气体吸收热量,E项错误。

二、非选择题(共44分)

7.(15分)(2020届山东青岛质检)如图所示,一根两端开口、横截面积为$S=2\ \mathrm{cm^2}$足够长的玻璃管竖直插入水银槽中并固定(插入水银槽中的部分足够深)。管中有一个质量不计的光滑活塞,活塞下封闭着长$L=21$ cm的气柱,气体的温度为$t_1=7$ ℃,外界大气压取$p_0=1.0\times10^5$ Pa(相当于75 cm高的汞柱压强)。



(1)若在活塞上放一个质量为$m=0.1$ kg的砝码,保持气体的温度t_1不变,则平衡后气柱为多长?($g=10\ \mathrm{m/s^2}$)

(2)若保持砝码的质量不变,对气体加热,使其温度升高到$t_2=77$ ℃,此时气柱为多长?

(3)若在(2)过程中,气体吸收的热量为10 J,则气体的内能增加多少?

答案 (1)20 cm (2)25 cm (3)8.95 J

解析 (1)被封闭气体的初状态为$p_1=p_0=1.0\times10^5$ Pa

$V_1=LS=42\ \mathrm{cm^3}$,$T_1=280$ K

末状态压强$p_2=p_0+\dfrac{mg}{S}=1.05\times10^5$ Pa

$V_2=L_2S$,$T_2=T_1=280$ K

根据玻意耳定律,有$p_1V_1=p_2V_2$,即$p_1L=p_2L_2$

得 $L_2=\frac{p_1}{p_2}L=20\ \text{cm}$。

(2)对气体加热后,气体的压强不变,$p_3=p_2$,$V_3=L_3S$,$T_3=350\ \text{K}$

根据盖—吕萨克定律,有$\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_3}{T_3}$,即$\frac{L_2}{T_2}=\frac{L_3}{T_3}$

得 $L_3=\frac{T_3}{T_2}L_2=25\ \text{cm}$。

(3)气体对外做的功 $W=p_2Sh=p_2S(L_3-L_2)=1.05\ \text{J}$

根据热力学第一定律得

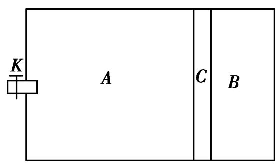
$\Delta U=Q-W=10\ \text{J}-1.05\ \text{J}=8.95\ \text{J}$

即气体的内能增加 8.95 J。

8.(10分)[**2019 福建四校二联,33(2)**]如图所示,体积为 V_0 的导热性能良好的容器中充有一定质量的理想气体,室温 $T_0=300\ \text{K}$。有一光滑导热活塞 C(体积可忽略)将容器分成 A、B 两室,A 室的体积是 B 室的 3 倍,B 室内气体压强为大气压的 1.5 倍,左室容器中连接有一阀门 K,可与大气相通(外界大气压等于 p_0)。

(ⅰ)将阀门 K 打开后,B 室的体积变成多少?

(ⅱ)打开阀门 K 后将容器内的气体从 300 K 加热到 900 K,B 室中气体压强变为多少?

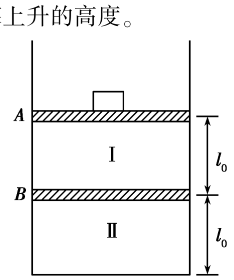


答案　(ⅰ)$\frac{3V_0}{8}$　(ⅱ)$\frac{9p_0}{8}$

解析　(ⅰ)B 室气体的初状态 $p_{B0}=1.5p_0$,$V_{B0}=\frac{V_0}{4}$,打开阀门,B 室气体做等温变化,$p_B=p_0$,体积为 V_B,由玻意耳定律得 $p_{B0}V_{B0}=p_BV_B$,解得 $V_B=\frac{3V_0}{8}$。

(ⅱ)温度从 $T_0=300\ \text{K}$ 升高到 T,B 中的气体由 V_B 变化到 V_0,气体做等压变化,由盖—吕萨克定律得 $\frac{T}{V_0}=\frac{T_0}{V_B}$,解得 $T=800\ \text{K}$。温度从 800 K 升高到 $T_1=900\ \text{K}$ 的过程中,压强由 p_0 变为 p_{B1},气体做等容变化,由查理定律得 $\frac{p_B}{T}=\frac{p_{B1}}{T_1}$,解得 $p_{B1}=\frac{9p_0}{8}$。

9.(9分)[**2018 河北五校联考,33(2)**]如图所示,一开口向上的汽缸固定在水平地面上,质量均为 m、横截面积均为 S 的活塞 A、B 将缸内气体分成Ⅰ、Ⅱ两部分。在活塞 A 的上方放置一质量为 $2m$ 的物块,整个装置处于平衡状态,此时Ⅰ、Ⅱ两部分气体的长度均为 l_0。已知大气压强与活塞质量的关系为 $p_0=\frac{3mg}{S}$,气体可视为理想气体且温度始终保持不变,不计一切摩擦,汽缸足够高。现将活塞 A 上面的物块取走,试求重新达到平衡状态后,A 活塞上升的高度。



答案　$0.9l_0$

解析　对Ⅰ部分气体,其初态压强 $p_1=p_0+\frac{3mg}{S}$,末态压强为 $p_1'=p_0+\frac{mg}{S}$

设末态时Ⅰ部分气体的长度为 l_1,则由玻意耳定律可得 $p_1l_0S=p_1'l_1S$

解得 $l_1=\frac{3}{2}l_0$

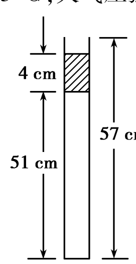
对Ⅱ部分气体,其初态压强为 $p_2=p_0+\frac{4mg}{S}$,末态压强为 $p_2'=p_0+\frac{2mg}{S}$

设末态时Ⅱ部分气体的长度为 l_2,则由玻意耳定律可得 $p_2l_0S=p_2'l_2S$

代入数据解得 $l_2=\frac{7}{5}l_0$

故活塞 A 上升的高度为 $\Delta h=l_1+l_2-2l_0=0.9l_0$

10.(10分)[**2020 届贵州部分重点高中大联考,33(2)**]如图所示,在长为 $L=57\ \text{cm}$ 的一端封闭、另一端开口向上的竖直玻璃管内,用 4 cm 高的水银柱封闭着 51 cm 长的理想气体,管内外气体的温度均为 33 ℃,大气压强 $p_0=76\ \text{cmHg}$。



(1)若缓慢对玻璃管加热,当水银柱上表面与管口刚好相平时,求管中气体的温度为多少摄氏度;

(2)若保持管内温度始终为 33 ℃,现将水银缓慢注入管中,直到水银柱上表面与管口相平,求此时管中气体的压强。

答案　(1)45 ℃　(2)85 cmHg

解析　本题考查了气体实验定律,体现了科学思维中科学论证要素。

(1)设玻璃管横截面积为 S,以管内封闭气体为研究对象,气体经历等压膨胀过程

初状态:$V_1=51S$,$T_1=(273+33)\ \text{K}=306\ \text{K}$

末状态:$V_2=53S$,

由盖—吕萨克定律有$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$

解得 $T_2=318\ \text{K}$,$t_2=45\ ℃$。

(2)当水银柱上表面与管口相平,设此时管中水银柱长度为 H,管内气体经历等温压缩过程,

由玻意耳定律有 $p_1V_1=p_2V_2'$

即 $p_1\cdot 51S=p_2(57-H)S$

$p_1=(76+4)\ \text{cmHg}=80\ \text{cmHg}$

$p_2=(76+H)\ \text{cmHg}$

解得 $H=9\ \text{cm}$,故 $p_2=85\ \text{cmHg}$。

专题十六 机械振动与机械波

探考情 悟真题 5年考情探究 真题典例探秘

考情探究 对应学生用书起始页码 193

考点	考向	5年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
机械振动	简谐运动	2019 课标Ⅱ,34(1),5分	3	$x-t$ 图像	运动与相互作用观念	图像法	★★★
		2017 课标Ⅰ,34(1),5分	4		运动与相互作用观念	图像法	
		2018 天津理综,8,6分	4		运动与相互作用观念		
		2019 江苏单科,13B(1)	2	机械能	运动与相互作用观念		
机械波	机械波	2019 课标Ⅰ,34(1),5分	4	速度、加速度	运动与相互作用观念		★★★
		2018 课标Ⅰ,34(2),10分	4		运动与相互作用观念		
		2018 课标Ⅱ,34(1),5分	3		科学推理		
		2018 课标Ⅲ,34(1),5分	4		运动与相互作用观念		
		2017 课标Ⅲ,34(1),5分	3		科学推理		
		2016 课标Ⅱ,34(2),10分	4		科学推理		
		2016 课标Ⅲ,34(1),5分	4		运动与相互作用观念		
		2015 课标Ⅰ,34(2),10分	4		运动与相互作用观念		
		2019 北京理综,13,6分	3	速度、加速度	模型建构		
		2019 天津理综,7,6分	3		运动与相互作用观念		

分析解读

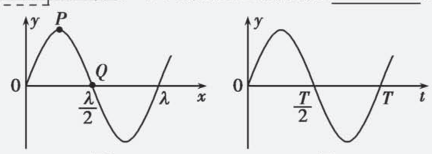
在新课标省区的高考中,对该部分知识点的考查不会面面俱到,以中等难度的题目为主。对简谐运动的考查相对较少,主要考查振动图像和波动图像以及波的传播规律等,考查的题型在不同省、市略有差别。

本专题综合运用运动学、动力学和能的转化等方面的知识,讨论机械振动和机械波的特点和规律,以及它们之间的联系和区别。熟练掌握振动的周期、能量、波速、波长与频率的关系及机械波的干涉、衍射等知识对后面电磁振荡及电磁波的干涉、衍射等内容的复习具有较大的帮助。

真题探秘

对应学生用书起始页码 194

［2019课标Ⅰ，34（1），5分］一简谐横波沿x轴正方向传播，在$t=\frac{T}{2}$时刻，该波的波形图如图(a)所示，P、Q是介质中的两个质点。图(b)表示介质中某质点的振动图像。下列说法正确的是________。



图(a)　　图(b)

A.质点Q的振动图像与图(b)相同

B.在$t=0$时刻，质点P的速率比质点Q的大

C.在$t=0$时刻，质点P的加速度的大小比质点Q的大

D.平衡位置在坐标原点的质点的振动图像如图(b)所示

E.在$t=0$时刻，质点P与其平衡位置的距离比质点Q的大

给出在$t=T/2$时刻的波形图，在图(b)中找出相应时刻该质点所处的位置及其振动方向

创设试题情景：横波沿x轴正方向传播

设问针对$t=0$时刻两质点物理量的大小关系，应通过图像先确定出$T/2$时刻P、Q质点位置及运动情况，然后由波的形成特点推知$t=0$时的三个平行结论

❶ 核心要点

质点做简谐运动中各物理量的变化关系，机械波的形成特点，振动图像和波动图像的关系。

❷ 情景解读

结合波动图像确定出P、Q质点在$t=0$时刻所在的位置，从而可求出各物理量的变化情况。

❸ 思路分析

在振动图像中$t=T/2$时质点在平衡位置且振动方向沿y轴负方向，在波动图像中确定出相应的质点，再根据形成波的质点间的关系，判断出$t=0$时P、Q质点的振动情况，推知相关的结论。

❹ 能力要求

将简谐运动中质点的振动情况与图像综合的能力，将振动图像与波动图像综合的能力。

❺ 答案

CDE　详细解析见388页5年高考B组第1题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 194

考点一　机械振动

考向基础

一、振动及描述振动的物理量

1.机械振动：物体(或物体的一部分)在某一中心位置两侧所做的往复运动称为机械振动，简称振动。

2.回复力：振动物体所受的总是指向平衡位置的力。它可以是某一个力，也可以是几个力的合力或某个力的分力，属于效果力，在具体问题中要注意分析是什么力提供了回复力。

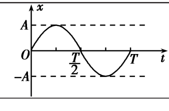
3.位移x：由平衡位置指向振动质点所在位置的有向线段，是矢量，其最大值等于振幅。

无论振子从什么位置开始振动，其位移总是以平衡位置为初位置。

4.振幅A：振动物体离开平衡位置的最大距离，是标量，表示振动的强弱。

5.周期T和频率f：表示振动快慢的物理量，两者互为倒数关系，当T和f由振动系统本身决定时，则叫固有周期和固有频率。

二、简谐运动

定义		如果质点的位移与时间的关系遵从正弦函数的规律，即它的振动图像(x-t图像)是一条正弦曲线，这样的振动叫做简谐运动
位移表达式		$x=A\sin(\omega t+\varphi)$
特征	动力学特征	$F=-kx$ 回复力大小与位移大小成正比，方向与位移方向相反
	运动学特征	$a=-\frac{k}{m}x$
振动图像	图像	
	意义	反映质点的位移随时间变化的规律(不是质点的运动轨迹)
	特点	所有简谐运动的图线都是正弦或余弦曲线
	蕴含信息	a.振幅A、周期T以及各时刻质点的位置、某段时间内质点的位移 b.各时刻回复力、加速度、速度、位移的方向。判断速度方向可以作曲线上某点的切线，若切线的斜率为正，则说明该时刻的速度方向为正方向 c.某段时间内位移、回复力、加速度、速度、动能、势能的变化情况

续表

三、简谐运动的两种基本模型

模型	弹簧振子(水平)	单摆
简谐运动条件	(1)弹簧质量忽略不计 (2)无摩擦等阻力 (3)在弹性限度内	(1)摆线为不可伸长的轻细线 (2)无空气等阻力 (3)最大摆角 $\theta<5°$
回复力	弹簧的弹力提供 $F_{回}=F_{弹}=-kx$(x 为形变量)	摆球重力沿与摆线垂直(即切线)方向的分力提供 $F_{回}=-mg\sin\alpha=-\frac{mg}{l}x$($l$ 为摆长,x 是相对平衡位置的位移)
平衡位置	$F_{回}=0,a=0$ 弹簧处于原长	$F_{回}=0,a_{切}=0$, 小球摆动的最低点(此时 $F_{向心}\neq0,a=a_{向心}\neq0$)
能量转化关系	弹性势能与动能的相互转化,机械能守恒	重力势能与动能的相互转化,机械能守恒
固有周期	$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$,T 与振幅无关	$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,T 与振幅、摆球质量无关

四、自由振动、受迫振动和共振的关系比较

振动类型 项目	自由振动	受迫振动	共振
受力情况	系统内部的相互作用力	周期性驱动力作用	周期性驱动力作用
振动周期或频率	由系统本身性质决定,即固有周期或固有频率	由驱动力的周期或频率决定,即 $T=T_{驱}$ 或 $f=f_{驱}$	$T_{驱}=T_{固}$ 或 $f_{驱}=f_{固}$
振动能量	振动物体的机械能不变	由产生驱动力的物体提供	振动物体获得的能量最大
常见例子	弹簧振子或单摆($\theta<5°$)	机器工作时底座发生的振动	共振筛、转速计等

五、用单摆测定重力加速度

实验原理

单摆在偏角很小(小于5°)时,振动周期跟偏角的大小和摆球的质量无关,由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 即可求出当地的重力加速度 g 的值。

实验步骤

1.让线的一端穿过小球的小孔。

2.把线的上端用铁夹固定在铁架台上,把铁架台放在实验桌边,使铁夹伸到桌面以外,让小球自由下垂,在单摆平衡位置处做上标记。

3.用刻度尺测量单摆的摆长(悬点到球心间的距离)。

4.把单摆从平衡位置拉开一个很小的角度(不超过5°),然后放开小球让它摆动,用停表测出单摆完成30次或50次全振动的时间,计算出平均完成一次全振动的时间,这个时间就是单摆的振动周期。

5.改变摆长,重做几次实验。计算出每次实验的重力加速度,求出几次实验得到的重力加速度的平均值,即本地区的重力加速度的值。

注意事项

1.摆线应选择细而不易伸长的轻线,长度一般不应短于1 m。小球应选用密度较大直径较小的金属球;

2.单摆悬线的上端应夹紧在铁夹中,以免摆动时摆长改变;

3.摆动时控制摆线偏离竖直方向不超过5°;

4.摆动时,要使之保持在同一个运动平面内,不要形成圆锥摆;

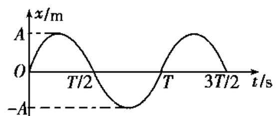
5.计算单摆的振动次数时,应在摆球通过最低位置时开始计时,以后摆球从同一方向通过最低位置时进行读数,且在数“零”的同时按下停表,开始计时计数。

考向突破

考向 简谐运动

一、简谐运动的图像

1.如图所示为一弹簧振子做简谐运动的图像。它反映了振子的位移随时间变化的规律,而振子实际轨迹并非正弦曲线。



2.根据简谐运动的规律,利用该图像可以得出以下判定

(1)振幅 A、周期 T 以及各时刻振子的位置;

(2)各时刻回复力、加速度、速度、位移的方向;

(3)某段时间内位移、回复力、加速度、速度、动能、势能的变化情况;

(4)某段时间内振子通过的路程。

二、做简谐运动的物体的位移、速度和加速度及其变化规律

1.位移:从平衡位置指向振动物体所在位置的有向线段。位移的表示方法是以平衡位置为坐标原点,以振动物体所在的直线为坐标轴,规定正方向,则某一时刻振动物体(偏离平衡位置)的位移用该时刻振动物体所在的位置坐标来表示。振动物体通过平衡位置时,位移改变方向。

2.速度:描述振动物体在平衡位置附近振动快慢的物理量。在所建立的坐标轴上,速度的正负号表示振动物体运动方向与坐标轴的正方向相同或相反。应明确速度和位移是彼此独立的物理量。如振动物体通过同一位置时,它的位移矢量的方向是一定的,而其速度方向却有两种可能:指向或背离平衡位置。振动物体在最大位移处速度为零,在平衡位置处速度最大,振动物体在最大位移处时,速度将改变方向。

3.加速度:根据牛顿第二定律,做简谐运动的物体的加速度 $a=-\frac{k}{m}x$。由此可知,振动物体加速度的大小跟位移成正比且方向相反。振动物体在位移最大处加速度最大,通过平衡位置时加速度为零,此时加速度将改变方向。

4.动能(标量):质量一定的物体,其动能的大小取决于速度的大小,所以做简谐运动的物体的动能随位移的增大而减小,随位移的减小而增大。

5.势能(标量):随高度(位移)增大而增大,随高度(位移)减小而减小。

三、单摆周期公式的应用

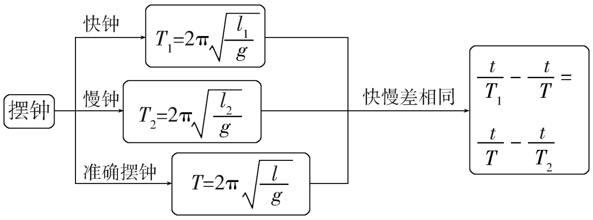
公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 中,g 由单摆所在的空间位置决定。

由 $g=G\frac{M}{R^2}$ 可知,g 因地球表面位置和高度的不同而不同,在不同星球上也不同,因此应求出单摆所在处的等效重力加速度

值 g' 代入公式,即 g 不一定等于 9.8 m/s^2。

例　在某地,摆长为 l_1 的摆钟 A 在某一段时间内快了 $\Delta t(s)$,而另一摆长为 l_2 的摆钟 B 在同一段时间内慢了 $\Delta t(s)$,那么,在该地走时准确的摆钟的摆长应为多少?

解题导引



解析　设该地走时准确的摆钟的摆长为 l,则周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,摆长为 l_1 的摆钟的周期 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}$,摆长为 l_2 的摆钟的周期 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}$,再设某一段时间为 t,据题意有 $\frac{t}{T_1}-\frac{t}{T}=\frac{t}{T}-\frac{t}{T_2}$。

解得 $l=\frac{4l_1l_2}{(\sqrt{l_1}+\sqrt{l_2})^2}$。

答案　$\frac{4l_1l_2}{(\sqrt{l_1}+\sqrt{l_2})^2}$

考点二　机械波

考向基础

一、机械波

1.机械波的产生

机械振动在介质中的传播形成了机械波。机械波产生的条件有两个:一是要有做机械振动的波源;二是要有能够传播机械振动的介质。

有机械波必有机械振动,有机械振动不一定有机械波。但是,已经形成的波跟波源无关,波源停止振动后波仍会继续传播,直到机械能耗尽才停止。

2.横波和纵波

质点的振动方向与波的传播方向垂直的波叫横波。凸起的最高处叫波峰,凹下的最低处叫波谷;质点的振动方向与波的传播方向在同一直线上的波叫纵波。质点分布最密的位置叫密部,分布最疏的位置叫疏部。

3.描述机械波的物理量

(1)波长 λ:两个相邻的、在振动过程中相对平衡位置的位移总是相同的质点间的距离叫波长。

在横波中,两个相邻波峰(或波谷)间的距离等于波长;

在纵波中,两个相邻密部(或疏部)间的距离等于波长。

(2)频率 f:波的频率由波源决定,在任何介质中频率不变。

(3)波速 v:单位时间内振动形式向外传播的距离。

波速与波长和频率的关系是 $v=\lambda f$,波速大小由介质决定。

4.机械波的特点

(1)每一质点都以它的平衡位置为中心做简谐运动;后一质点的振动总是落后于带动它的前一质点的振动。

(2)波传播的只是运动(振动)形式和振动能量,介质中的质点并不随波迁移。

5.声波

一切振动着发声的物体都叫声源。声源的振动在介质中形成纵波。频率为 20 Hz 到 20 000 Hz 的声波能引起人的听觉。频率低于 20 Hz 的声波称为次声波;频率高于 20 000 Hz 的声波称为超声波,超声波的应用十分广泛,如声呐、"B 超"、探伤仪等。声波在空气中的传播速度约为 340 m/s。声波具有反射、干涉、衍射等波的特有现象。

二、波的干涉和衍射

1.波的叠加:几列波相遇时,每列波都能够保持各自的状态继续传播而不互相干扰,只是在重叠的区域里,任一质点的总位移等于各列波分别引起的位移的矢量和。

2.衍射:波绕过障碍物继续传播的现象。产生明显衍射现象的条件是障碍物的尺寸或缝、孔的宽度比波长小或与波长相差不多。

3.干涉:频率相同的两列波叠加,使某些区域的振动加强,某些区域的振动减弱,并且振动加强和振动减弱的区域相互间隔的现象。产生稳定干涉现象的必要条件是两列波的频率相同。

说明　(1)稳定干涉中,振动加强区域或振动减弱区域的空间位置是不变的。加强区域中心质点的振幅等于两列波的振幅之和;减弱区域中心质点的振幅等于两列波的振幅之差。

(2)振动加强的条件是两波源到该区域中心的距离之差等于波长的整数倍;振动减弱的条件是两波源到该区域中心的距离之差等于半波长的奇数倍。

(3)加强区永远是加强区,减弱区永远是减弱区,加强区内各点的振动位移不一定都比减弱区内各点的振动位移大。

4.干涉和衍射是波所特有的现象。

三、多普勒效应

由于波源和观察者之间有相对运动,使观察者感到波的频率发生变化的现象,叫做多普勒效应。

当波源与观察者有相对运动时,如果二者相互接近,观察者接收到的频率增大;如果二者相互远离,观察者接收到的频率减小。多普勒效应是所有波动过程共有的特征。根据声波的多普勒效应可以测定车辆行驶的速度;根据光波的多普勒效应可以判断遥远天体相对地球的运行速度。

考向突破

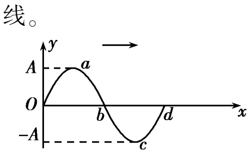
考向　机械波

一、波速与振速的区别

波源振动几个周期,振动就向外传播几个波长,$\frac{\lambda}{T}$这个比值就表示了振动(或能量)向外传播的速度,即波速。在同一均匀介质中波的传播是匀速的,与波的频率无关。波动中各质点都在平衡位置附近做周期性振动,是变加速运动,质点并没沿波的传播方向随波迁移。因此要区分开这两个速度。

二、机械波的图像

1.如图所示为一横波的图像,它反映了在波传播的过程中,某一时刻介质中各质点的位移在空间的分布,简谐横波的图像为正弦(或余弦)曲线。



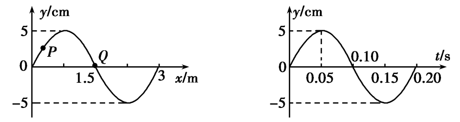
2.根据机械波的传播规律,利用波的图像可以得出以下的判定

(1)介质中质点的振幅 A 和波长 λ,以及该时刻各质点的位移和加速度的方向。

(2)根据波的传播方向确定该时刻各质点的振动方向,且能画出在 Δt 前(或后)的波形图像。

(3)根据某一质点的振动方向确定波的传播方向。

例1 如图所示,图甲为一列简谐横波在 $t=0.50$ s 时的波形图像,P 点是距平衡位置2.5 cm的质点,图乙是 Q 点的振动图像。以下说法正确的是 ( )



甲 乙

A.0.05 s 时质点 Q 具有最大的加速度和位移

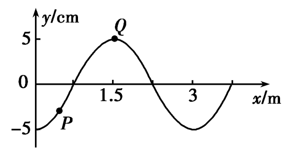
B.0.05 s 时质点 P 的速度正在减小,加速度正在增大

C.这列简谐横波的波速为 15 m/s

D.这列波的传播方向为 $+x$ 方向

E.从 0.60 s 到 0.90 s,质点 P 通过的路程为 30 cm

解析 由图乙可知 0.05 s 时,Q 质点在正向最大位移处,具有最大的加速度,A 正确。由题给条件可画出 0.05 s 时波动图像如图所示,再结合图甲分析可知波向 x 轴负方向传播,此时质点 P 的速度在增大,加速度在减小,B、D 错误。由图甲知波长 $\lambda=3$ m,由图乙知周期 $T=0.20$ s,则波速 $v=\frac{\lambda}{T}=15$ m/s,C 正确。因 $\Delta t=0.90\ \text{s}-0.60\ \text{s}=0.30\ \text{s}=1.5T$,则质点 P 通过的路程 $s=1.5\times4\times5\ \text{cm}=30$ cm,E 正确。

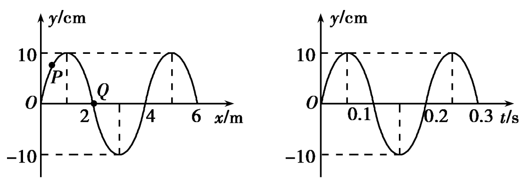


答案 ACE

三、振动图像和波的图像的比较

图像名称 对比内容	振动图像	波的图像
研究对象	单个振动质点	连续介质中的大量质点
横坐标轴	时间	介质中各质点的平衡位置与所选坐标原点的距离(即质点平衡位置的坐标)
纵坐标轴	振动质点相对平衡位置的位移	同一时刻介质中各质点相对平衡位置的位移
物理意义	描述一个振动质点的位移随时间变化的规律。能直观表示一个振动质点在一段时间内的运动情况	描述介质中大量质点在某一时刻的位移随质点平衡位置的变化情况。能直观表示一列波在某时刻的波形
两个相邻最高点沿横轴的距离	等于质点振动的周期,显示出振动时间的周期性	等于一个波长,显示出振动传播的周期性
图像随时间的变化	随着时间的推移,图像将沿着横坐标轴的方向延伸,但原有的图像不发生变化	随着时间的推移,波的图像将沿波的传播方向平移。且每经一个周期,图像又恢复原来的形状
图像显示的主要物理量	①由纵轴坐标可知振幅 ②由横轴坐标可知周期 ③由图像的切线斜率可知速度的大小及方向的变化情况 ④由位移的变化情况可知加速度的大小及方向的变化情况	①由纵轴坐标可知振幅 ②由横轴坐标可知波长 ③可根据波的传播方向确定各质点某时刻的运动方向;也可根据某质点的运动方向确定波的传播方向 ④由位移情况可确定介质中各质点在某一时刻加速度的大小及方向情况

例2 [2019 安徽六校二联,34(1)]图甲为一简谐横波在 $t=0.10$ s 时的波形图,P 是平衡位置在 $x=0.5$ m 处的质点,Q 是平衡位置在 $x=2.0$ m 处的质点,图乙为质点 Q 的振动图像。下列说法正确的是 ( )



甲 乙

A.这列波沿 x 轴负方向传播

B.这列波的传播速度为 2 m/s

C.从 $t=0$ 到 $t=0.15$ s 时间内,这列波传播的距离为 3 m

D.从 $t=0.10$ s 到 $t=0.15$ s 时间内,P 通过的路程为 10 cm

E.$t=0.15$ s 时,P 的加速度方向与 y 轴正方向相反

解析 由图乙知,$t=0.10$ s 时质点 Q 沿 y 轴负方向运动,由图甲,根据"同侧法"知,这列波沿 x 轴负方向传播,选项 A 正确;由图甲知,这列波的波长 $\lambda=4$ m,由图乙知,这列波的周期 $T=0.2$ s,则这列波的传播速度 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4\ \text{m}}{0.2\ \text{s}}=20$ m/s,选项 B 错误;从 $t=0$ 到 $t=0.15$ s 时间内,这列波传播的距离 $x=vt=20\ \text{m/s}\times0.15\ \text{s}=3$ m,选项 C 正确;由图甲知,质点振动的振幅为 10 cm,从 $t=0.10$ s 到 $t=0.15$ s 时间内,P 点运动了 $\frac{T}{4}$,$t=0.10$ s 时质点 P 沿 y 轴正方向运动,由于质点离平衡位置越远,速度越小,故 P 通过的路程小于 10 cm,选项 D 错误;$t=0.15$ s时,P 在最大正向位移与平衡位置之间且向平衡位置移动,加速度方向指向平衡位置,即与 y 轴正方向相反,选项 E 正确。

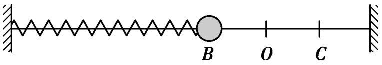
答案 ACE

考点集训

对应学生用书起始页码 198

考点一　机械振动

1.［2020 届河南中原大联考,34(1)］(多选)如图所示,弹簧振子在 BC 间振动,O 为平衡位置,$BO=OC=5$ cm。若振子从 B 到 C 的运动时间是 1 s,则下列说法中正确的是　(　　)



A.振子从 B 经 O 到 C 完成一次全振动

B.振动周期是 2 s,振幅是 5 cm

C.经过两次全振动,振子通过的路程是 20 cm

D.从 B 开始经过 3 s,振子通过的路程是 30 cm

E.振子从 B 到 O 的时间与从 O 到 C 的时间相等

答案　BDE　本题考查了机械振动中弹簧振子模型。体现了科学思维中模型建构要素。

振子从 $B\to O\to C$ 仅完成了半次全振动,所以周期 $T=2\times1$ s$=2$ s,振幅 $A=BO=5$ cm,故 A 错误,B 正确;振子在一次全振动中通过的路程为 $4A=20$ cm,所以两次全振动中通过的路程为 40 cm,3 s 的时间为 $1.5T$,所以振子通过的路程为 30 cm,故 C 错误,D 正确;由简谐运动的对称性可知 E 正确。

2.(2019 陕西二检,15)(多选)下列关于机械振动的有关说法正确的是　(　　)

A.简谐运动的回复力是按效果命名的力

B.振动图像描述的是振动质点的轨迹

C.受迫振动的频率等于驱动力的频率

D.当驱动力的频率等于受迫振动系统的固有频率时,振幅最大

E.机械振动的振动能量对外传播时不需要依赖介质

答案　ACD　做简谐运动的物体所受到的回复力是按力的作用效果命名的,故选项 A 正确;振动图像描述的是振动质点在不同时刻的位移或者说描述的是质点位移随时间的变化关系,而不是其实际的运动轨迹,故选项 B 错误;物体在周期性驱动力作用下做受迫振动,受迫振动的频率等于驱动力的频率,与固有频率无关,故选项 C 正确;当驱动力的频率等于受迫振动系统的固有频率时,系统发生共振,振幅最大,故选项 D 正确;机械波是机械振动在介质中传播形成的,必须依赖于介质,没有介质不能形成机械波,故选项 E 错误。

考查点　机械振动

温馨提示　共振的情况下能量传输最快,振幅最大。

3.［2019 四川攀枝花二模,34(2)］弹簧振子以 O 点为平衡位置,在 B、C 两点间做简谐运动,在 $t=0$ 时刻,振子从 O、B 间的 P 点以速度 v 向 B 点运动;在 $t=0.2$ s 时刻,振子速度第一次变为 $-v$;在 $t=0.5$ s 时刻,振子速度第二次变为 $-v$。

①求弹簧振子的振动周期 T;

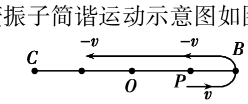
②若 B、C 之间的距离为 25 cm,求振子在 4 s 内通过的路程;

③若 B、C 之间的距离为 25 cm,从平衡位置开始计时,写出弹簧振子的位移表达式,并画出弹簧振子的振动图像。

答案　①1 s　②200 cm　③见解析

解析　本题考查了机械振动的物理量及其图像,体现了科学思维中科学推理要素。

(1)画出弹簧振子简谐运动示意图如图所示。



由对称性可得 $T=0.5\times2$ s$=1$ s

(2)若 B、C 之间距离为 25 cm

则振幅 $A=\frac{1}{2}\times25$ cm$=12.5$ cm

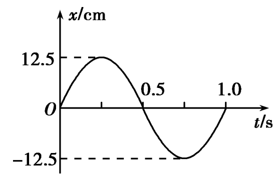
振子 4 s 内通过的路程

$s=\frac{4}{1}\times4\times12.5$ cm$=200$ cm

(3)根据 $x=A\sin\omega t$,$A=12.5$ cm,$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi$ rad/s

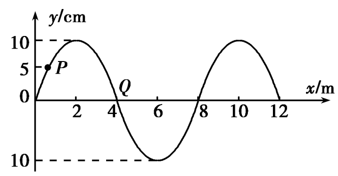
得 $x=12.5\sin2\pi t$ (cm)

振动图像如图所示。



考点二　机械波

1.［2019 江西红色七校二模,34(1)］(多选)一列简谐横波在介质中沿 x 轴负方向传播,$t=0$ 时刻的波形如图所示,此时刻质点 P 的位移为 5 cm,质点 Q 位于 $x=4$ m 处。从 $t=0$ 时刻开始计时,当 $t=16.5$ s 时质点 Q 刚好第 3 次到达波峰。下列说法正确的是　(　　)



A.该波的振动周期为 4 s

B.该波的传播速度为 $\frac{4}{3}$ m/s

C.$t=3$ s 时质点 P 沿 y 轴负方向运动

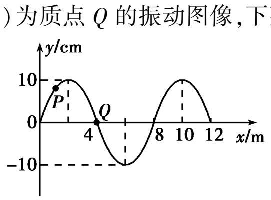
D.0~30 s 内质点 Q 通过的路程为 2 m

E.0~3 s 内质点 P 通过的路程为 10 cm

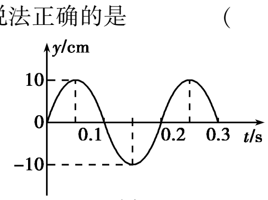
答案　BCD　当 $t=16.5$ s 时质点 Q 刚好第 3 次到达波峰,$2\frac{3}{4}T=16.5$ s,解得 $T=6$ s,选项 A 错误;该波的传播速度为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{3}$ m/s,选项 B 正确;$t=3$ s$=\frac{T}{2}$,此时质点 P 在 $y=-5$ cm 处,且沿 y 轴负方向运动,选项 C 正确;30 s$=5T$,质点 Q 通过的路程 $s=20A=2$ m,选项 D 正确;0~3 s 内质点 P 运动半个周期,通过的路程为 $s'=2A=20$ cm,选项 E 错误。

关键点拨　解答本题的关键是抓住质点 Q 的振动条件来确定振动周期,根据波形图确定波长,由此确定波速,波动的基本物理量已确定,相关问题也将迎刃而解。

2.(多选)图(a)为一列简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形图,P 是平衡位置在 $x=1$ m 处的质点,Q 是平衡位置在 $x=4$ m 处的质点;图(b)为质点 Q 的振动图像,下列说法正确的是　(　　)



图(a)



图(b)

A.波向左传播

B.波速为 40 m/s

C.$t=0.1$ s 时,质点 P 向 y 轴正方向运动

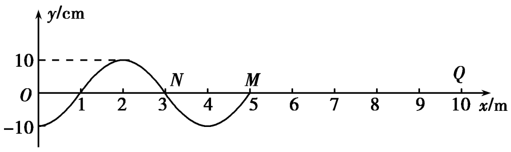
D.从 $t=0$ 到 $t=0.05$ s,质点 P 运动的路程为 20 cm

E.从 $t=0$ 到 $t=0.25$ s,质点 Q 运动的路程为 50 cm

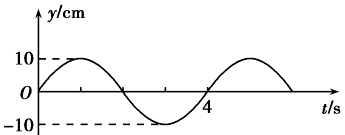
答案　BCE　由(a)和(b)两图可知,波向右传播,A 项错误。由(a)图可知波长 $\lambda=8$ m,由(b)图可知周期 $T=0.2$ s,则

波速 $v=\frac{\lambda}{T}=40\ m/s$,B 项正确。由于 $t=0.1\ s=\frac{T}{2}$,则 $t=0.1\ s$ 时 P 处在波谷与平衡位置之间且向 y 轴正方向运动,C 项正确。从 $t=0$ 到 $t=0.05\ s$ 的这$\frac{T}{4}$内,P 运动的路程小于20 cm,D 项错误。$0.25\ s=1\frac{1}{4}T$,则从 $t=0$ 到 $t=0.25\ s$ 时间内,质点 Q 运动的路程为 $5A=5\times10\ cm=50\ cm$,E 项正确。

3.(多选)图甲是一列简谐横波传播到 $x=5\ m$ 的 M 点时的波形图,图乙是质点 $N(x=3\ m)$ 从此时刻开始计时的振动图像,Q 是位于 $x=10\ m$ 处的质点,下列说法正确的是 ( )



甲



乙

A.这列波的波长是 5 m
B.这列波的传播速度是 1 m/s
C.当 Q 点开始振动时,M 点位于波谷
D.质点 Q 在 6 s 时,第一次到达波峰
E.这列简谐波由 M 点传播到 Q 点需要 5 s

答案 **BCE** 本题考查了机械波和机械振动的综合应用,体现了科学思维中科学论证要素。

由甲图得到波长为 4 m,故 A 错误;由乙图得到周期为4 s,故波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{4}\ m/s=1\ m/s$,故 B 正确;波从 M 传播到 Q 经过的时间为$\frac{10-5}{1}\ s=5\ s=1\frac{1}{4}T$,开始振动时 M 点向下运动,经 $1\frac{1}{4}T$,M 点位于波谷,故 C、E 正确;$x=2\ m$ 处的波峰传到 Q 点时,质点 Q 第一次到达波峰,经历时间为 $t=\frac{\Delta x}{v}=\frac{10-2}{1}\ s=8\ s$,故 D 错误。

炼技法 提能力

方法技巧秘籍 实战技能集训

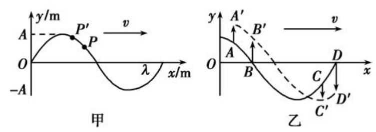
方法技巧

对应学生用书起始页码 199

方法 1 判断波的传播方向和质点的振动方向的方法

方法一 带动法(特殊点法)

如图甲所示为一沿 x 轴正方向传播的横波,根据波传播过程中,后一质点总是滞后于前一质点的运动状态的特性,可判断质点的振动方向。在质点 P 附近靠近波源一方的图线上另找一点 P',若 P'在 P 上方,P'带动 P 向上运动,则 P 向上运动;若 P'在 P 下方,P'带动 P 向下运动,则 P 向下运动。



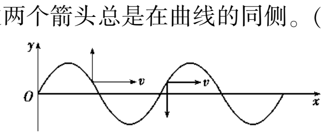
甲 乙

方法二 微平移法(波形移动法)

作出经微小时间 $\Delta t(\Delta t<T/4)$ 后的波形(如图乙所示),就知道了各质点经过 Δt 时间达到的位置,运动方向就知道了。

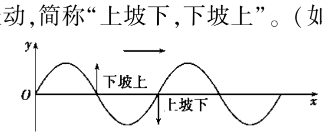
方法三 同侧法

在波的图像上的某一点,沿纵轴方向画出一个箭头表示质点振动方向,并设想在同一点沿 x 轴方向画个箭头表示波的传播方向,那么这两个箭头总是在曲线的同侧。(如图所示)

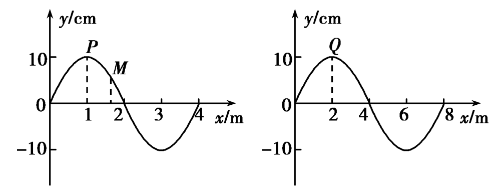


方法四 上下坡法

沿波的传播速度的正方向看,"上坡"的点向下振动,"下坡"的点向上振动,简称"上坡下,下坡上"。(如图所示)



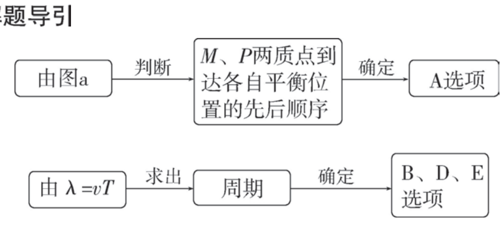
例 1 [2019 广西名校联考,34(1)]甲、乙两列简谐横波波速均为 $v=2\ m/s$,甲沿 x 轴负方向传播,乙沿 x 轴正方向传播,某时刻波的图像分别如图 a、b 所示,其中 P、Q 质点均处于波峰,关于这两列波,下列说法正确的是 ( )



a b

A.甲波中的 M 质点比 P 质点先回到平衡位置
B.从图示的时刻开始,P 质点与 Q 质点同时回到平衡位置
C.从图示的时刻开始,经过 1.0 s,P 质点沿 x 轴负方向通过的位移为 2 m
D.从图示的时刻开始,经过 1.0 s,M 质点通过的路程为 20 cm
E.如果这两列波相遇不可能形成稳定的干涉图样

解题导引



解析 由 a 图可知,M 比 P 先回到平衡位置,A 正确;甲波振动周期 $T_{甲}=\frac{\lambda_{甲}}{v}=2\ s$,乙波振动周期 $T_{乙}=\frac{\lambda_{乙}}{v}=4\ s$,故 P 质点比 Q 质点早回到平衡位置,B 错误;P 质点只在平衡位置附近振动,不沿 x 轴负方向运动,C 错误;$t=1\ s=\frac{T_{甲}}{2}$,M 点通过的路程为 $s=2A=20\ cm$,D 正确;因甲、乙两波的频率不同,不会发生干涉,E 正确。

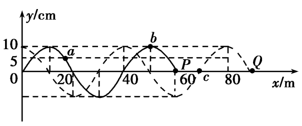
答案 **ADE**

方法 2　利用波传播的周期性、双向性解题

1.波的图像的周期性：相隔时间为周期整数倍的两个时刻的波形相同，从而使题目的解答出现多解的可能。

2.波传播方向的双向性：在题目未给出传播方向时，要考虑到波可沿 x 轴正向或负向传播的两种可能性。

例 2　一列简谐横波沿 x 轴正方向传播，t 时刻波形图如图中的实线所示，此时波刚好传到 P 点，$t+0.6$ s 时刻的波形如图中的虚线所示，a、b、c、P、Q 是介质中的质点，则下列说法正确的是（　　）



A.这列波的波速可能为 50 m/s

B.质点 a 在这段时间内通过的路程一定小于 30 cm

C.质点 c 在这段时间内通过的路程可能为 60 cm

D.若周期 $T=0.8$ s，则在 $t+0.5$ s 时刻，质点 b、P 的位移相同

E.若周期 $T=0.8$ s，从 $t+0.4$ s 时刻开始计时，则质点 c 的振动方程为 $y=0.1\sin\left(\frac{5}{2}\pi t\right)$ m

解析　由波形图可知波长 $\lambda=40$ m，且 $0.6\text{ s}=nT+\frac{3}{4}T$（$n=0,1,2,\cdots$），解得周期 $T=\frac{2.4}{4n+3}$ s（$n=0,1,2,\cdots$），当 $n=0$ 时，$T=0.8$ s，波速 $v=\frac{\lambda}{T}=50$ m/s，选项 A 正确。由传播方向沿 x 轴正方向可知质点 a 在 t 时刻向上运动，当 $n=0$ 时，$T=0.8$ s，则质点 a 在 0.6 s 内通过的路程小于 30 cm，当 $n=1$ 时，$T=\frac{24}{70}$ s，质点 a 在 0.6 s 内通过的路程大于 30 cm，选项 B 错误。若 $n=1$，则 $T=\frac{24}{70}$ s，波传播到 c 点所用时间为 $\frac{1}{4}T$，$0.6\text{ s}=\frac{7T}{4}$，质点 c 振动的时间为 $\frac{7}{4}T-\frac{1}{4}T=\frac{3}{2}T$，故在这段时间内质点 c 通过的路程为 $6A=60$ cm，选项 C 正确。若 $T=0.8$ s，在 $t+0.5$ s 时刻，质点 b、P 的位移均为负值，大小相等，选项 D 正确。若 $T=0.8$ s，从 $t+0.4$ s 时刻开始计时，则质点 c 的振动方程为 $y=0.1\sin\left(\frac{5}{2}\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$ m，选项 E 错误。

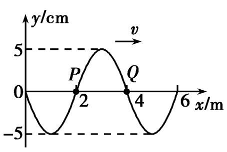
答案　**ACD**

方法集训

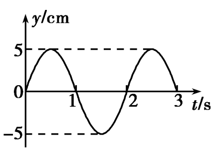
对应学生用书起始页码 200

方法 1　判断波的传播方向和质点的振动方向的方法

1.（多选）如图甲所示是一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形图，P 是参与波动的、离原点 $x_1=2$ m 处的质点，Q 是参与波动的、离原点 $x_2=4$ m 处的质点。图乙是参与波动的某一质点的振动图像（所有参与波动的质点计时起点相同）。由图可知（　　）



图甲



图乙

A.从 $t=0$ 到 $t=6$ s，质点 P 通过的路程为 0.6 m

B.从 $t=0$ 到 $t=6$ s，质点 Q 通过的路程为 12 m

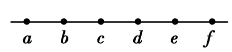
C.这列波的传播速度为 $v=2$ m/s

D.从 $t=0$ 起，P 质点比 Q 质点先到达波峰

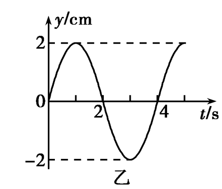
E.乙图可能是甲图中质点 Q 的振动图像

答案　**ACE**　由图乙读出该波的周期 $T=2$ s，振幅为 $A=5$ cm，因为 $\Delta t=6\text{ s}=3T$，所以从 $t=0$ 到 $t=6$ s，质点 P、Q 通过的路程都是 $3\times4A=12\times5\text{ cm}=60\text{ cm}=0.6$ m，故 A 正确，B 错误；由图甲读出波长 $\lambda=4$ m，则波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{2}$ m/s $=2$ m/s，故 C 正确；简谐横波沿 x 轴正方向传播，$t=0$ 时刻 Q 质点向上运动，P 质点向下运动，所以 Q 质点比 P 质点先到达波峰，故 D 错误；由图乙看出，$t=0$ 时刻，质点从平衡位置向上运动，由图甲知，Q 质点在 $t=0$ 时也从平衡位置向上运动，故乙图可能是甲图中质点 Q 的振动图像，故 E 正确。

2.（多选）如图甲所示，沿波的传播方向上有间距均为 0.1 m 的六个质点 a、b、c、d、e、f，均静止在各自的平衡位置，$t=0$ 时刻振源 a 从平衡位置开始沿 y 轴正方向做简谐运动，其运动图像如图乙所示，形成的简谐横波以 0.1 m/s 的速度水平向右传播，则下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A.这列波的周期为 4 s

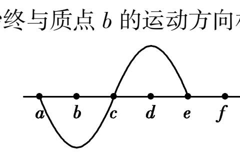
B.0~4 s 时间内质点 b 运动路程为 6 cm

C.4~5 s 时间内质点 c 的加速度在减小

D.6 s 时质点 e 的振动方向沿 y 轴正方向

E.质点 d 起振后的运动方向始终与质点 b 的运动方向相反

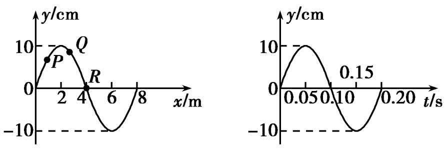
答案　**ABE**　由图乙可知振源 a 的振动周期 $T=4$ s，则这列波的周期为 4 s，A 选项正确；因 b 点距振源的距离为 0.1 m，$\frac{0.1\text{ m}}{0.1\text{ m/s}}=1$ s，则在 $t=1$ s 时 b 质点才开始振动，则 0~4 s 时间内质点 b 实际只振了 3 s，运动路程为 $s=A\times3=6$ cm，B 选项正确；波长 $\lambda=vT=0.1\times4\text{ m}=0.4$ m，结合图乙画出 $t=4$ s 时的波形图如图所示，则知 4~5 s 时间内质点 c 由平衡位置向 y 轴负方向振动，加速度在增大，C 选项错误；质点 e 距振源的距离为 0.4 m，$\frac{0.4\text{ m}}{0.1\text{ m/s}}=4$ s，则知在 $t=4$ s 时质点 e 才开始由平衡位置向上振动，再经 $2\text{ s}=\frac{1}{2}T$，即在 $t=6$ s 时质点 e 的振动方向沿 y 轴负方向，D 选项错误；质点 d 和质点 b 相差半个波长，所以质点 d 起振后的运动方向始终与质点 b 的运动方向相反，E 选项正确。



方法 2　利用波传播的周期性、双向性解题

1.［2018 河南八市第一次测评，17（1）］（多选）如图甲所示为一列简谐横波在 $t=0.20$ s 时刻的波形图，在波传播路径上有 P、

Q、R 三个质点,它们的平衡位置分别在 $x_1=1.2$ m、$x_2=2.5$ m 和 $x_3=4$ m 处,图乙为质点 R 的振动图像,则 ( )



图甲　　　图乙

A.此简谐横波沿 x 轴正向传播

B.从图甲所示时刻,再经过 0.10 s 质点 R 传到 $x=8$ m 处

C.质点 Q 从图甲所示时刻开始,第一次回到平衡位置所用的时间为 0.062 5 s

D.质点 P 比质点 Q 早 0.3 s 回到平衡位置

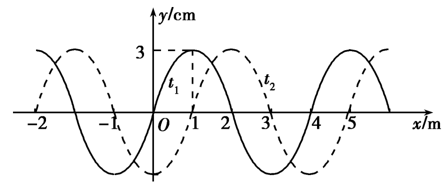
E.从图甲所示时刻,再经过 0.08 s,$x=3.2$ m 处的质点刚好回到平衡位置

答案 **ACE** 由图乙可知,$t=0.20$ s 时质点 R 正从平衡位置向 y 轴正向运动,根据波动与振动的关系可知,波沿 x 轴正向传播,A 项正确;质点并不沿波传播的方向发生迁移,B 项错误;由图可知波长 $\lambda=8$ m,周期 $T=0.20$ s,则波传播的速度为 $v=\frac{8}{0.20}$ m/s $=40$ m/s,因此质点 Q 经过 $t_2=\frac{2.5}{40}$ s $=0.062\ 5$ s 第一次回到平衡位置,C 项正确;质点 P 经过 $t_1=\frac{1.2}{40}$ s $=0.03$ s 第一次回到平衡位置,因此质点 P 比质点 Q 早 0.032 5 s 回到平衡位置,D 项错误;从图甲所示时刻开始,经过 0.08 s,波形移动的距离为 40×0.08 m $=3.2$ m,将波形沿 x 轴正向移动 3.2 m 会发现 $x=3.2$ m 处的质点刚好回到平衡位置,E 项正确。

2.[2019 河南平顶山一模,34(2)]如图所示为一列简谐横波沿 x 轴传播在 $t=0$(实线)和 $t=0.5$ s(虚线)时刻的波形图。

(ⅰ)若 $t=0$ 时刻,$x=2.5$ m 处质点正沿 y 轴负方向振动,求该质点第一次回到 $t=0$ 时刻的位置所经过的最长时间。

(ⅱ)若波动的周期满足 $T\leqslant0.5\text{ s}\leqslant2T$,则在 1 s 内波传播的距离为多少?



答案 (ⅰ)$\frac{1}{6}$ s (ⅱ)10 m(波沿 x 轴正向传播)或 14 m(波沿 x 轴负向传播)

解析 (ⅰ)若 $t=0$ 时刻,$x=2.5$ m 处质点正沿 y 轴负方向振动,根据振动与波动的关系可知,波沿 x 轴负方向传播,结合图像可知,该质点第一次回到 $t=0$ 时刻的位置波传播的距离为 $s=1$ m

波传播的速度 $v=\frac{3+4k}{0.5}$ m/s$(k=0,1,2,3,\cdots)$

当 $k=0$ 时,波速最小,最小速度 $v_{\min}=6$ m/s

$x=2.5$ m 处质点第一次回到 $t=0$ 时刻的位置所用的最长时间 $t=\frac{s}{v_{\min}}=\frac{1}{6}$ s

(ⅱ)由于 $T\leqslant0.5\text{ s}\leqslant2T$,若波沿 x 轴正向传播,则 0.5 s 内波传播的距离 $s_1=5$ m

波在 1 s 内传播的距离为 10 m

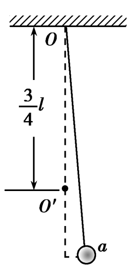
若波沿 x 轴负方向传播,则 0.5 s 内波传播的距离 $s_2=7$ m

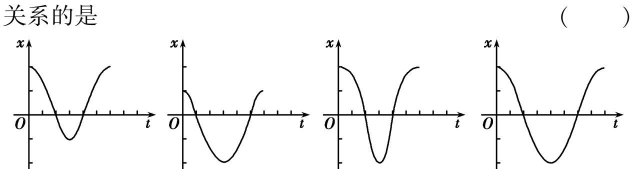
波在 1 s 内传播的距离为 14 m

5年高考 2015-2019 对应学生用书起始页码 288

A组 基础题组

1.[2019 课标Ⅱ,34(1),5 分]如图,长为 l 的细绳下方悬挂一小球 a,绳的另一端固定在天花板上 O 点处,在 O 点正下方 $\frac{3}{4}l$ 的 O' 处有一固定细铁钉。将小球向右拉开,使细绳与竖直方向成一小角度(约为 2°)后由静止释放,并从释放时开始计时。当小球 a 摆至最低位置时,细绳会受到铁钉的阻挡。设小球相对于其平衡位置的水平位移为 x,向右为正。下列图像中,能描述小球在开始一个周期内的 $x-t$ 关系的是 ( )





A　B　C　D

答案 **A** 本题考查单摆问题中对单摆模型的理解及对周期公式的认识,体现出模型建构的素养。

由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可知,单摆的摆长越大,周期越大,题中单摆在一个全振动中,当 $x>0$ 时摆长为 l,$T_1=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$;当 $x<0$ 时,摆长为 $\frac{l}{4}$,$T_2=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,则 $T_1=2T_2$,由机械能守恒定律可知,小球将运动到与初始位置等高的地方,由几何关系可知,当 $x<0$ 时,振幅变小,故 A 项正确。

解题关键 将整个全振动分为 $x>0$ 与 $x<0$ 两种情况来分析,比较两种情况下的周期大小和振幅大小。

2.[2019 江苏单科,13B(1)](多选)一单摆做简谐运动,在偏角增大的过程中,摆球的 ( )

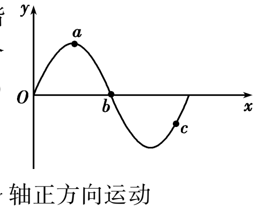
A.位移增大　　B.速度增大

C.回复力增大　　D.机械能增大

答案 **AC** 本题考查了机械振动的基本规律,体现了科学推理的核心素养。

做简谐运动的单摆在偏角增大过程中距平衡位置的位移 x 增大,选项 A 正确。速度减小,选项 B 错误。回复力 $F=-kx$,随 x 增大,回复力增大,选项 C 正确。单摆在摆动过程中悬线拉力不做功,故摆球机械能守恒,选项 D 错误。

3.(2019 北京理综,13,6 分)一列简谐横波某时刻的波形如图所示,比较介质中的三个质点 a、b、c,则 ( )



A.此刻 a 的加速度最小

B.此刻 b 的速度最小

C.若波沿 x 轴正方向传播,此刻 b 向 y 轴正方向运动

D.若波沿 x 轴负方向传播,a 比 c 先回到平衡位置

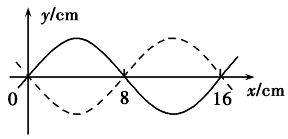
答案 **C** 本题考查了机械波中对波动图像的理解,需分析质点的振动方向,体现了物理学科核心素养中的模型建构和科

学推理素养。

由$-ky=ma$可知,质点a的加速度最大,故A选项错误。质点b处于平衡位置,速度最大,故B选项错误。波沿x轴正方向传播时由“同侧法”得b向y轴正方向运动,故C选项正确。同理,波沿x轴负方向传播时,质点a向下运动,质点c向上运动,c先回到平衡位置,故D选项错误。

方法总结　判断波的传播方向和质点振动方向的四种常用方法:①带动法;②微平移法;③同侧法;④上下坡法。学习过程中熟练掌握其中一种即可。

4.[2018课标Ⅲ,34(1),5分](多选)一列简谐横波沿x轴正方向传播,在$t=0$和$t=0.20$ s时的波形分别如图中实线和虚线所示。已知该波的周期$T>0.20$ s。下列说法正确的是(　　)



A.波速为0.40 m/s
B.波长为0.08 m
C.$x=0.08$ m的质点在$t=0.70$ s时位于波谷
D.$x=0.08$ m的质点在$t=0.12$ s时位于波谷
E.若此波传入另一介质中其波速变为0.80 m/s,则它在该介质中的波长为0.32 m

答案　**ACE**　本题考查机械振动和机械波的综合应用。由图像可知,该波的波长$\lambda=16$ cm$=0.16$ m,选项B错误;$\Delta t=nT+\frac{1}{2}T(n=0,1,2,\cdots)$,可得$T=\frac{\Delta t}{n+\frac{1}{2}}>0.20$ s,即$\frac{0.20\text{ s}}{n+\frac{1}{2}}>0.20$ s,解得$n=0$,$T=0.40$ s,波速$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{0.16}{0.40}$ m/s$=0.40$ m/s,选项A正确;$\Delta t_1=0.70$ s$=T+\frac{3}{4}T$,即从$t=0$时刻开始到$t=0.70$ s时刻,$x=0.08$ m的质点振动了$T+\frac{3}{4}T$,则可知$t=0.70$ s时,该质点位于波谷,选项C正确;$\Delta t_2=0.12$ s$=\frac{3}{10}T<\frac{1}{2}T$,则$x=0.08$ m的质点在$t=0.12$ s时位于平衡位置和波峰之间的某一位置,选项D错误;机械波传入另一介质中,其周期不变,则波长$\lambda'=v'T=0.32$ m,选项E正确。

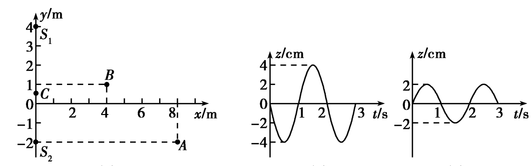
5.[2016课标Ⅰ,34(1),5分](多选)某同学漂浮在海面上,虽然水面波正平稳地以1.8 m/s的速率向着海滩传播,但他并不向海滩靠近。该同学发现从第1个波峰到第10个波峰通过身下的时间间隔为15 s。下列说法正确的是(　　)

A.水面波是一种机械波
B.该水面波的频率为6 Hz
C.该水面波的波长为3 m
D.水面波没有将该同学推向岸边,是因为波传播时能量不会传递出去
E.水面波没有将该同学推向岸边,是因为波传播时振动的质点并不随波迁移

答案　**ACE**　水面波是一种机械波,传播过程中各质点只在平衡位置上下往复运动,不随波的传播而迁移,因此水面波不会将该同学推向岸边,故D错,A、E均正确。由题意可知该波的周期$T=\frac{15}{9}$ s$=\frac{5}{3}$ s,频率$f=\frac{1}{T}=0.6$ Hz,波长$\lambda=vT=1.8\times\frac{5}{3}$ m$=3$ m,故B错、C正确。

易错点拨　第1个波峰到第10个波峰之间经历了9个周期的时间,而不是10个周期。

6.[2017课标Ⅰ,34(1),5分]如图(a),在xy平面内有两个沿z方向做简谐振动的点波源$S_1(0,4)$和$S_2(0,-2)$。两波源的振动图线分别如图(b)和图(c)所示。两列波的波速均为1.00 m/s。两列波从波源传播到点$A(8,-2)$的路程差为________m,两列波引起的点$B(4,1)$处质点的振动相互________(填“加强”或“减弱”),点$C(0,0.5)$处质点的振动相互______(填“加强”或“减弱”)。

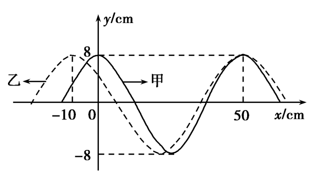


图(a)　　图(b)　　图(c)

答案　2　减弱　加强

解析　本题考查波的干涉。若两波源同相,在干涉区域内,波程差$\Delta x=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$的点振动加强,波程差为$\Delta x=(2n+1)\frac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$的点振动减弱。若两相干波源反相,在干涉区域内,波程差$\Delta x=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$的点振动减弱,波程差$\Delta x=(2n+1)\frac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$的点振动加强。本题中两波源反相,$A$到两波源的距离差为$AS_1-AS_2=\sqrt{(8-0)^2+(-2-4)^2}$ m-8 m$=2$ m。由图(b)和图(c)得$T=2$ s,则$\lambda=vT=2$ m,因$BS_1-BS_2=0$,故B点振动减弱。$CS_1-CS_2=1$ m,恰好为半个波长,故C点振动加强。

7.[2015课标Ⅰ,34(2),10分]甲、乙两列简谐横波在同一介质中分别沿x轴正向和负向传播,波速均为$v=25$ cm/s。两列波在$t=0$时的波形曲线如图所示。求



(ⅰ)$t=0$时,介质中偏离平衡位置位移为16 cm的所有质点的x坐标;

(ⅱ)从$t=0$开始,介质中最早出现偏离平衡位置位移为-16 cm的质点的时间。

答案　(ⅰ)$x=(50+300n)$ cm,$n=0,\pm1,\pm2,\cdots$　(ⅱ)0.1 s

解析　(ⅰ)$t=0$时,在$x=50$ cm处两列波的波峰相遇,该处质点偏离平衡位置的位移为16 cm。两列波的波峰相遇处的质点偏离平衡位置的位移均为16 cm。

从图线可以看出,甲、乙两列波的波长分别为

$\lambda_1=50$ cm,$\lambda_2=60$ cm　①

甲、乙两列波波峰的x坐标分别为

$x_1=50+k_1\lambda_1$,$k_1=0,\pm1,\pm2,\cdots$　②

$x_2=50+k_2\lambda_2$,$k_2=0,\pm1,\pm2,\cdots$　③

由①②③式得,介质中偏离平衡位置位移为16 cm的所有质点的x坐标为

$x=(50+300n)$ cm,$n=0,\pm1,\pm2,\cdots$　④

(ⅱ)只有两列波的波谷相遇处的质点的位移为-16 cm。$t=0$时,两波波谷间的x坐标之差为

$$\Delta x'=\left[50+(2m_2+1)\frac{\lambda_2}{2}\right]-\left[50+(2m_1+1)\frac{\lambda_1}{2}\right]\quad ⑤$$

式中,m_1和m_2均为整数。将①式代入⑤式得

$\Delta x'=10(6m_2-5m_1)+5$ ⑥

由于 m_1、m_2 均为整数,相向传播的波谷间的距离最小为

$\Delta x_0'=5$ cm ⑦

从 $t=0$ 开始,介质中最早出现偏离平衡位置位移为 -16 cm的质点的时间为

$t=\frac{\Delta x_0'}{2v}$ ⑧

代入数据得

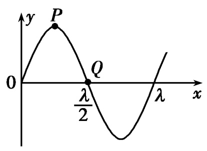
$t=0.1$ s ⑨

评分细则 第(ⅰ)问6分,①式2分,②③式各1分,④式2分;第(ⅱ)问4分,⑤⑦⑧⑨式各1分。

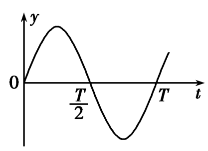
解后反思 该题难度较大,解答过程中要注意数学知识在物理学中的应用,尤其是对于通式的表达。同时该题要求学生具有较强的计算能力。

B组 提升题组

1.[2019课标Ⅰ,34(1),5分](多选)一简谐横波沿 x 轴正方向传播,在 $t=\frac{T}{2}$ 时刻,该波的波形图如图(a)所示,P、Q 是介质中的两个质点。图(b)表示介质中某质点的振动图像。下列说法正确的是 ( )



图(a)



图(b)

A.质点 Q 的振动图像与图(b)相同

B.在 $t=0$ 时刻,质点 P 的速率比质点 Q 的大

C.在 $t=0$ 时刻,质点 P 的加速度的大小比质点 Q 的大

D.平衡位置在坐标原点的质点的振动图像如图(b)所示

E.在 $t=0$ 时刻,质点 P 与其平衡位置的距离比质点 Q 的大

答案 CDE 本题考查了机械振动及机械波图像的综合应用,考查了学生的综合分析能力,体现了物理观念中运动与相互作用的素养要素。

由图(b)可知,在 $\frac{T}{2}$ 时刻,该质点处于平衡位置且向 y 轴负方向运动,再从图(a)中利用"上下坡法",结合波沿 x 轴正方向传播可知,在 $\frac{T}{2}$ 时刻,质点 Q 在平衡位置且向 y 轴正方向运动,平衡位置在原点处的质点在平衡位置且向 y 轴负方向运动,所以A选项错误,D选项正确。分析可知,在 $t=0$ 时刻,质点 P 位于波谷,此时质点 P 的速率为0,加速度最大,位移大小最大,但质点 Q 在平衡位置,速率最大,加速度为0,位移为0,所以B选项错误,C和E选项均正确。

2.[2019课标Ⅲ,34(1),5分](多选)水槽中,与水面接触的两根相同细杆固定在同一个振动片上。振动片做简谐振动时,两根细杆周期性触动水面形成两个波源。两波源发出的波在水面上相遇,在重叠区域发生干涉并形成了干涉图样。关于两列波重叠区域内水面上振动的质点,下列说法正确的是 ( )

A.不同质点的振幅都相同

B.不同质点振动的频率都相同

C.不同质点振动的相位都相同

D.不同质点振动的周期都与振动片的周期相同

E.同一质点处,两列波的相位差不随时间变化

答案 BDE 本题考查了机械波的干涉内容,突出了理解能力、综合分析能力的应用,体现了核心素养中模型建构、科学推理和科学论证要素。

两列波发生干涉时,会出现振动加强区和振动减弱区,振动加强区的质点振幅大,振动减弱区的质点振幅小,故A错误。波动过程中质点的振动频率由波源决定,故B项正确。不同质点的振动相位不一定相同,故C错误。振动质点的周期由波源决定,故D项正确。由题意知,两列波在重叠区域发生干涉并形成干涉图样,则在同一质点处,两列波的相位在不断变化,但两列波的相位差不变,故E项正确。

3.(2019天津理综,7,6分)(多选)一列简谐横波沿 x 轴传播,已知 x 轴上 $x_1=1$ m 和 $x_2=7$ m 处质点的振动图像分别如图1、图2所示,则此列波的传播速率可能是 ( )

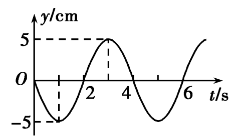


图1

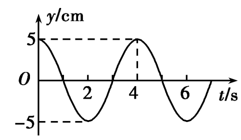


图2

A.7 m/s　B.2 m/s　C.1.2 m/s　D.1 m/s

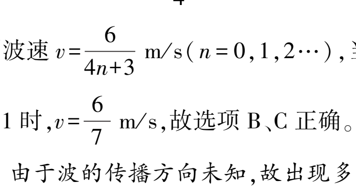
答案 BC 本题考查了机械振动和机械波、质点的振动图像,以及考生的综合分析和推理能力,是核心素养中运动和相互作用观念的具体体现。

若波沿 x 轴正向传播,则 $\frac{1}{4}\lambda+n\lambda=6$ m,故 $\lambda=\frac{24}{4n+1}$ m($n=0,1,2\cdots$),由振动图像可知波的周期 $T=4$ s,故波速 $v=\frac{6}{4n+1}$ m/s($n=0,1,2\cdots$),当 $n=1$ 时,$v=1.2$ m/s,当 $n=0$ 时,$v=6$ m/s。

若波沿 x 轴负向传播,则 $\frac{3}{4}\lambda+n\lambda=6$ m,故 $\lambda=\frac{24}{4n+3}$ m($n=0,1,2\cdots$),则波速 $v=\frac{6}{4n+3}$ m/s($n=0,1,2\cdots$),当 $n=0$ 时,$v=2$ m/s,当 $n=1$ 时,$v=\frac{6}{7}$ m/s,故选项B、C正确。

疑难突破 由于波的传播方向未知,故出现多解。本题难点是将相距6 m的两个质点放在一个波动图像中,确定出波长,再结合 $v=\lambda/T$ 进行计算。

4.[2017课标Ⅲ,34(1),5分](多选)如图,一列简谐横波沿 x 轴正方向传播,实线为 $t=0$ 时的波形图,虚线为 $t=0.5$ s时的波形图。已知该简谐波的周期大于0.5 s。关于该简谐波,下列说法正确的是 ( )



A.波长为2 m

B.波速为6 m/s

C.频率为1.5 Hz

D.$t=1$ s时,$x=1$ m处的质点处于波峰

E.$t=2$ s时,$x=2$ m处的质点经过平衡位置

答案 BCE 本题考查机械波图像。

由题图可知,该波波长 $\lambda=4$ m,选项A错误;$T>0.5$ s,则由题图知波在0.5 s内沿 x 轴正方向传播的距离为 $\frac{3}{4}\lambda$,传播时

间 $t=\frac{3}{4}T=0.5$ s，$T=\frac{2}{3}$ s，频率 $f=\frac{1}{T}=1.5$ Hz，选项 C 正确；波速 $v=\frac{\lambda}{T}=6$ m/s，选项 B 正确；1 s $=\frac{3}{2}T$，$t=1$ s 时，$x=1$ m处的质点处于波谷，选项 D 错误；2 s $=3T$，$t=2$ s 时，$x=2$ m处的质点经过平衡位置，选项 E 正确。

关联知识　(1)波长、波速、周期间的关系。

(2)由波形图和波的传播方向确定一段时间内波的传播距离与波长的关系，进而求出波的周期。

5.[2016 课标Ⅲ，34(1)，5 分](多选)由波源 S 形成的简谐横波在均匀介质中向左、右传播。波源振动的频率为 20 Hz，波速为16 m/s。已知介质中 P、Q 两质点位于波源 S 的两侧，且 P、Q 和 S 的平衡位置在一条直线上，P、Q 的平衡位置到 S 的平衡位置之间的距离分别为 15.8 m、14.6 m。P、Q 开始振动后，下列判断正确的是　(　　)

A.P、Q 两质点运动的方向始终相同

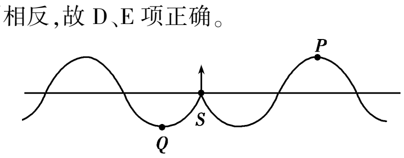
B.P、Q 两质点运动的方向始终相反

C.当 S 恰好通过平衡位置时，P、Q 两点也正好通过平衡位置

D.当 S 恰好通过平衡位置向上运动时，P 在波峰

E.当 S 恰好通过平衡位置向下运动时，Q 在波峰

答案　BDE　由波速公式：$v=\lambda f$ 得 $\lambda=\frac{v}{f}=0.8$ m，$L_{SP}=\frac{15.8}{0.8}\lambda=19\frac{3}{4}\lambda$，$L_{SQ}=\frac{14.6}{0.8}\lambda=18\frac{1}{4}\lambda$，由波动的周期性，采用“去整留零”的方法，可在波形图上标出 S、P、Q 三点的位置，如图所示，由图可知，P、Q 两点的运动方向始终相反，A 项错误，B 项正确；S 在平衡位置时，P、Q 一个在波峰，一个在波谷，C 项错误；当 S 恰通过平衡位置向上运动时，P 在波峰，Q 在波谷，反之则相反，故 D、E 项正确。



方法技巧　判断在波的传播方向上两质点的运动情况，可求出两质点平衡位置和波源间的距离与波长的关系，采用“去整留零”的方法，画出某时刻的波形图，确定两质点的位置。

6.[2018 课标Ⅱ，34(1)，5 分]声波在空气中的传播速度为 340 m/s，在钢铁中的传播速度为 4 900 m/s。一平直桥由钢铁制成，某同学用锤子敲击一下桥的一端发出声音，分别经空气和桥传到另一端的时间之差为 1.00 s。桥的长度为________m。若该声波在空气中的波长为 λ，则它在钢铁中的波长为 λ 的________倍。

答案　365　$\frac{245}{17}$

解析　本题考查声波的传播。

设桥长为 x，则有 $\frac{x}{340\ \text{m/s}}-\frac{x}{4\ 900\ \text{m/s}}=1.00$ s，解得：$x=365$ m。

波在不同介质中传播时，频率不变，由 $\lambda=\frac{v}{f}$，有 $\lambda_{钢}=\frac{v_{钢}}{v_{气}}\lambda=\frac{245}{17}\lambda$。

关联知识　机械波的传播特点

机械波在不同介质中传播时，其频率只决定于波源的振动频率，与介质无关；传播速度与介质有关。

7.[2016 课标Ⅱ，34(2)，10 分]一列简谐横波在介质中沿 x 轴正向传播，波长不小于 10 cm。O 和 A 是介质中平衡位置分别位于 $x=0$ 和 $x=5$ cm 处的两个质点。$t=0$ 时开始观测，此时质点 O 的位移为 $y=4$ cm，质点 A 处于波峰位置；$t=\frac{1}{3}$ s 时，质点 O 第一次回到平衡位置，$t=1$ s 时，质点 A 第一次回到平衡位置。求

(ⅰ)简谐波的周期、波速和波长；

(ⅱ)质点 O 的位移随时间变化的关系式。

答案　见解析

解析　(ⅰ)设振动周期为 T。由于质点 A 在 0 到 1 s 内由最大位移处第一次回到平衡位置，经历的是 $\frac{1}{4}$ 个周期，由此可知

$T=4$ s　①

由于质点 O 与 A 的距离 5 cm 小于半个波长，且波沿 x 轴正向传播，O 在 $t=\frac{1}{3}$ s 时回到平衡位置，而 A 在 $t=1$ s 时回到平衡位置，时间相差 $\frac{2}{3}$ s。两质点平衡位置的距离除以传播时间，可得波的速度

$v=7.5$ cm/s　②

利用波长、波速和周期的关系得，简谐波的波长

$\lambda=30$ cm　③

(ⅱ)设质点 O 的位移随时间变化的关系为

$y=A\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_0\right)$　④

将①式及题给条件代入上式得

$\begin{cases}4\ \text{cm}=A\cos\varphi_0\\0=A\cos\left(\frac{\pi}{6}+\varphi_0\right)\end{cases}$　⑤

解得

$\varphi_0=\frac{\pi}{3}$，$A=8$ cm　⑥

质点 O 的位移随时间变化的关系式为

$y=0.08\cos\left(\frac{\pi t}{2}+\frac{\pi}{3}\right)$(国际单位制)　⑦

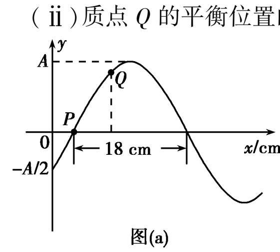
或 $y=0.08\sin\left(\frac{\pi t}{2}+\frac{5\pi}{6}\right)$(国际单位制)

解题方法　机械波中的各质点都在做简谐运动，简谐运动位移与时间的关系式为 $y=A\sin(\omega t+\varphi)$ 或者是 $y=A\cos(\omega t+\varphi)$，式中 $\omega=\frac{2\pi}{T}$，把数学中的三角函数知识与物理中的简谐运动结合起来，就能够顺利得出结果。

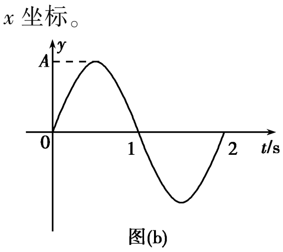
8.[2018 课标Ⅰ，34(2)，10 分]一列简谐横波在 $t=\frac{1}{3}$ s 时的波形图如图(a)所示，P、Q 是介质中的两个质点。图(b)是质点 Q 的振动图像。求

(ⅰ)波速及波的传播方向；

(ⅱ)质点 Q 的平衡位置的 x 坐标。



图(a)



图(b)

答案　(ⅰ)18 cm/s　沿 x 轴负方向传播　(ⅱ)$x_Q=9$ cm

解析　本题考查机械振动、机械波。

(ⅰ)由图(a)可以看出，该波的波长为

$\lambda=36$ cm　①

由图(b)可以看出，周期为

$T=2$ s　②

波速为

$v=\dfrac{\lambda}{T}=18\ \text{cm/s}$ ③

由图(b)知,当 $t=\dfrac{1}{3}$ s 时,质点 Q 向上运动,结合图(a)可得,波沿 x 轴负方向传播。

(ⅱ)设质点 P、Q 平衡位置的 x 坐标分别为 x_P、x_Q。由图(a)知,$x=0$ 处 $y=-\dfrac{A}{2}=A\sin(-30°)$,因此

$x_P=\dfrac{30°}{360°}\lambda=3\ \text{cm}$ ④

由图(b)知,在 $t=0$ 时质点 Q 处于平衡位置,经 $\Delta t=\dfrac{1}{3}$ s,其振动状态向 x 轴负方向传播至 P 点处,由此及③式有

$x_Q-x_P=v\Delta t=6\ \text{cm}$ ⑤

由④⑤式得,质点 Q 的平衡位置的 x 坐标为

$x_Q=9\ \text{cm}$ ⑥

C组 教师专用题组

1.(2018 天津理综,8,6分)(多选)一振子沿 x 轴做简谐运动,平衡位置在坐标原点。$t=0$ 时振子的位移为 -0.1 m,$t=1$ s 时位移为 0.1 m,则 ( )

A.若振幅为 0.1 m,振子的周期可能为 $\dfrac{2}{3}$ s

B.若振幅为 0.1 m,振子的周期可能为 $\dfrac{4}{5}$ s

C.若振幅为 0.2 m,振子的周期可能为 4 s

D.若振幅为 0.2 m,振子的周期可能为 6 s

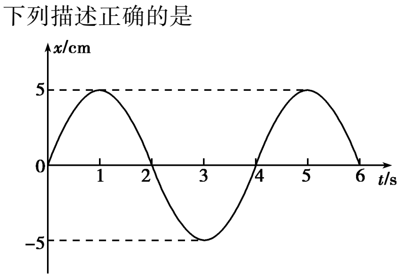
答案 AD 本题考查简谐运动的多解问题。简谐运动的位移方程为 $x=A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t+\theta\right)$,当振幅 $A=0.1$ m 时,由 $t=0$ 时 $x=-0.1$ m得 $\theta=-\dfrac{\pi}{2}$;由 $t=1$ s 时 $x=0.1$ m 有 $\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}-\dfrac{\pi}{2}\right)=1$,则 $\dfrac{2\pi}{T}-\dfrac{\pi}{2}=2k\pi+\dfrac{\pi}{2}(k=0,1,2,\cdots)$,$k=0$ 时,$T=2$ s;$k=1$ 时,$T=\dfrac{2}{3}$ s;$k=2$ 时,$T=\dfrac{2}{5}$ s。由以上分析可见,A 项正确,B 项错误。

当振幅 $A=0.2$ m 时,由 $t=0$ 时 $x=-0.1$ m 得 $\theta=-\dfrac{\pi}{6}$或 $\theta=-\dfrac{5\pi}{6}$;若 $\theta=-\dfrac{\pi}{6}$,由 $t=1$ s 时 $x=0.1$ m 有 $\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}-\dfrac{\pi}{6}\right)=\dfrac{1}{2}$,则当$\dfrac{2\pi}{T}-\dfrac{\pi}{6}=\dfrac{\pi}{6}$时,$T=6$ s;当$\dfrac{2\pi}{T}-\dfrac{\pi}{6}=\dfrac{5}{6}\pi$ 时,$T=2$ s。同理,若 $\theta=-\dfrac{5\pi}{6}$,则周期 T 最大值为 2 s。由以上分析可见 C 项错误,D 项正确。

疑难突破 解多解问题的方法

对于多解问题,一般先分析各种可能的情况,写出通式,然后再由通式得到各种可能的解。

2.(2017 北京理综,15,6分)某弹簧振子沿 x 轴的简谐运动图像如图所示,下列描述正确的是 ( )



A.$t=1$ s 时,振子的速度为零,加速度为负的最大值

B.$t=2$ s 时,振子的速度为负,加速度为正的最大值

C.$t=3$ s 时,振子的速度为负的最大值,加速度为零

D.$t=4$ s 时,振子的速度为正,加速度为负的最大值

答案 A 本题考查简谐运动图像。由图像可知,$t=1$ s 和 $t=3$ s 时振子在最大位移处,速度为零,加速度分别为负向最大值、正向最大值;而 $t=2$ s 和 $t=4$ s 时振子在平衡位置,加速度为零,而速度分别为负向最大、正向最大。综上所述,A 项说法正确。

解题关键 简谐运动图像与运动情景的关联

通过图像,不仅要提取出图像中的相关信息,更需与振子运动情景相关联,细致分析出各物理量的大小和方向,这是解答本题的关键。

3.(2017 上海单科,10,4分)做简谐运动的单摆,其摆长不变,若摆球的质量增加为原来的$\dfrac{9}{4}$倍,摆球经过平衡位置的速度减为原来的$\dfrac{2}{3}$,则单摆振动的 ( )

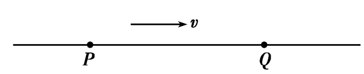
A.周期不变,振幅不变　　B.周期不变,振幅变小

C.周期改变,振幅不变　　D.周期改变,振幅变大

答案 B 本题考查单摆。由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{L/g}$ 可知,当摆长 L 不变时,周期不变,故 C、D 错误;由能量守恒定律可知$\dfrac{1}{2}mv^2=mgh$,其摆动的高度与质量无关,因平衡位置的速度减小,则最大高度减小,即振幅减小,选项 B 正确、A 错误。

易错警示 摆球经过平衡位置时,因质量增加为原来的$\dfrac{9}{4}$倍,速度减为原来的$\dfrac{2}{3}$,故动能 $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2$ 不变,不要误认为摆球的振幅不变而错选 A。

4.(2018 北京理综,16,6分)如图所示,一列简谐横波向右传播,P、Q 两质点平衡位置相距 0.15 m。当 P 运动到上方最大位移处时,Q 刚好运动到下方最大位移处,则这列波的波长可能是 ( )



A.0.60 m　B.0.30 m　C.0.20 m　D.0.15 m

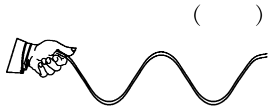
答案 B 本题考查机械波的相关知识。由题意知,P 位于波峰时,Q 位于波谷,故两点平衡位置间距 $0.15\ \text{m}=\dfrac{\lambda}{2}+n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$,所以波长 $\lambda=\dfrac{0.30}{1+2n}$ m$(n=0,1,2,\cdots)$,当 $n=0$ 时,$\lambda=0.30$ m,故选项 B 正确。

规律总结 机械波传播方向上两质点平衡位置间距与波长的关系

平衡位置间距 $\Delta x=\begin{cases}n\lambda(n=0,1,2,\cdots)\rightarrow\text{同相点}\\(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)\rightarrow\text{反相点}\end{cases}$

5.(2017 天津理综,5,6分)手持较长软绳端点 O 以周期 T 在竖直方向上做简谐运动,带动绳上的其他质点振动形成简谐波沿绳水平传播,示意如图。绳上有另一质点 P,且 O、P 的平衡位置间距为 L。$t=0$ 时,O 位于最高点,P 的位移恰好为零,速度

方向竖直向上,下列判断正确的是　(　　)



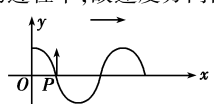
A.该简谐波是纵波

B.该简谐波的最大波长为 $2L$

C.$t=\frac{T}{8}$时,P 在平衡位置上方

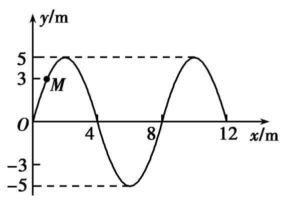
D.$t=\frac{3T}{8}$时,P 的速度方向竖直向上

答案　C　本题考查机械波。由题意知绳上的质点在竖直方向上振动,波水平向右传播,故该波为横波,选项 A 错误;在 $t=0$ 时刻,P 点在如图所示位置时,波长最大,则有$\frac{1}{4}\lambda=L$,$\lambda=4L$,选项 B 错误;$t=0$ 时,P 在平衡位置且向上振动,当 $t=\frac{T}{8}$时,P 在平衡位置上方,选项 C 正确;当 $t=\frac{3}{8}T$ 时,P 处于从最高点向平衡位置运动过程中,故速度方向向下,选项 D 错误。



思路分析　$t=0$ 时,O 位于最高点——波峰,P 位移为零,速度向上——平衡位置,作出波动图像,确定 P 点的可能位置,判断 P 点在不同时刻的运动方向和最大波长。

6.(2016 天津理综,7,6 分)(多选)在均匀介质中坐标原点 O 处有一波源做简谐运动,其表达式为 $y=5\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$,它在介质中形成的简谐横波沿 x 轴正方向传播,某时刻波刚好传播到 $x=12$ m 处,波形图像如图所示,则　(　　)



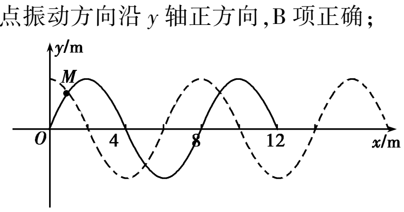
A.此后再经 6 s 该波传播到 $x=24$ m 处

B.M 点在此后第 3 s 末的振动方向沿 y 轴正方向

C.波源开始振动时的运动方向沿 y 轴负方向

D.此后 M 点第一次到达 $y=-3$ m 处所需时间是 2 s

答案　AB　由波源振动表达式可知 $\omega=\frac{\pi}{2}\ s^{-1}$,而 $\omega=\frac{2\pi}{T}$,所以 $T=4$ s,由波形图知 $\lambda=8$ m,波速 $v=\frac{\lambda}{T}=2$ m/s,$\Delta x=v\cdot\Delta t=12$ m,故 A 项正确;经过 $\Delta t'=3$ s,波向前传播的距离为 $\Delta x'$,$\Delta x'=v\cdot\Delta t'=6$ m,画出这一时刻的波形图如图中虚线所示,由图可知,M 点振动方向沿 y 轴正方向,B 项正确;

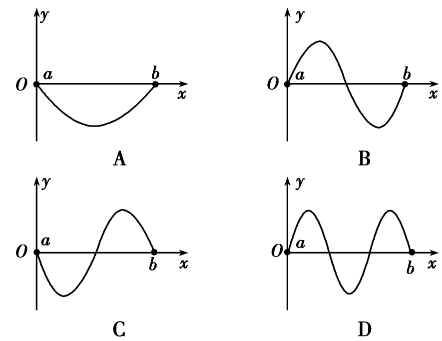


在波的传播过程中,各质点的起振方向都与波源的起振方向相同,可得波源起振方向沿 y 轴正方向,C 项错误;此时 M 点在 $y=3$ m 处且沿 y 轴负方向振动,第一次到达 $y=-3$ m 处所用时间小于$\frac{T}{2}$,故 D 项错误。

规律总结　根据波的传播方向判断质点振动方向的方法:顺着波的传播方向看,处在上坡处的质点向下振动,处在下坡处的质点向上振动,即"上坡下,下坡上"。

评析　本题考查了机械振动与机械波的内容,理解振动与波的关系,熟练掌握质点振动方向与波的传播方向的互判方法是解题的关键。

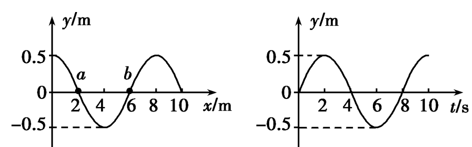
7.(2015 福建理综,16,6 分)简谐横波在同一均匀介质中沿 x 轴正方向传播,波速为 v。若某时刻在波的传播方向上,位于平衡位置的两质点 a、b 相距为 s,a、b 之间只存在一个波谷,则从该时刻起,下列四幅波形图中质点 a 最早到达波谷的是　(　　)



答案　D　根据波的传播方向,可分别判定四幅波形图中质点 a 的振动方向,A 图中向上振动,B 图中向下振动,C 图中向上振动,D 图中向下振动;各图中波的周期分别为 $T_A=\frac{2\cdot s}{v}$,$T_B=\frac{s}{v}$,$T_C=\frac{s}{v}$,$T_D=\frac{\frac{2}{3}s}{v}$,故从该时刻起,各图中质点 a 第一次到达波谷的时间分别为 $t_A=\frac{3}{4}\cdot T_A=\frac{3}{2}\frac{s}{v}$,$t_B=\frac{1}{4}T_B=\frac{1}{4}\frac{s}{v}$,$t_C=\frac{3}{4}T_C=\frac{3}{4}\frac{s}{v}$,$t_D=\frac{1}{4}T_D=\frac{1}{6}\frac{s}{v}$,可知 $t_D<t_B<t_C<t_A$,故选 D。

评析　四个图像中波形不同,分析时很容易只注意振动方向对质点到达波谷时间的影响,而忽略周期不同也会对问题有影响,要注意把两个方面因素综合起来考虑。

8.(2015 天津理综,3,6 分)图甲为一列简谐横波在某一时刻的波形图,a、b 两质点的横坐标分别为 $x_a=2$ m 和 $x_b=6$ m,图乙为质点 b 从该时刻开始计时的振动图像。下列说法正确的是　(　　)



图甲　　图乙

A.该波沿$+x$ 方向传播,波速为 1 m/s

B.质点 a 经 4 s 振动的路程为 4 m

C.此时刻质点 a 的速度沿$+y$ 方向

D.质点 a 在 $t=2$ s 时速度为零

答案　D　$t=0$ 时,b 质点向$+y$ 方向运动,根据"下坡上"可判定波沿$-x$方向传播,A 错误;a 总是与 b 的振动方向相反,$t=0$ 时,a 向$-y$方向运动,C 错误;经过 4 s,a 回到平衡位置,路程为 1 m,B 错误;$t=2$ s 时,a 处于波谷,速度为零,D 正确。

9.(2014 安徽理综,16,6 分)一简谐横波沿 x 轴正向传播,图 1 是 $t=0$ 时刻的波形图,图 2 是介质中某质点的振动图像,则该质点的 x 坐标值合理的是　(　　)

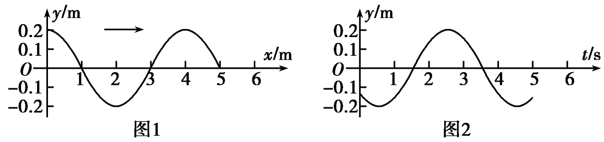
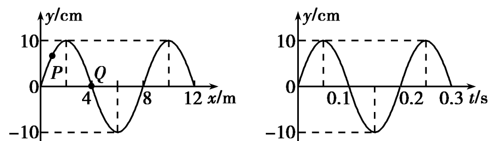


图1　　图2

A.0.5 m　　B.1.5 m　　C.2.5 m　　D.3.5 m

答案　C　由图 2 知,$t=0$ 时刻此质点相对平衡位置的位移约为-0.15 m,且振动方向向下,图 1 中符合此要求的点在 2~3 m 之间,故 C 正确。

10.[2014 课标Ⅱ,34(1),5 分](多选)图(a)为一列简谐横波在 $t=0.10$ s 时刻的波形图,P 是平衡位置在 $x=1.0$ m 处的质点,Q 是平衡位置在$x=4.0$ m 处的质点;图(b)为质点 Q 的振动图像。下列说法正确的是　(　　)



图(a)　　图(b)

A.在 $t=0.10$ s 时,质点 Q 向 y 轴正方向运动

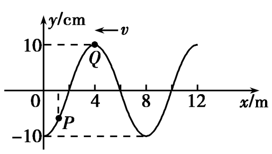
B.在 $t=0.25$ s 时,质点 P 的加速度方向与 y 轴正方向相同

C.从 $t=0.10$ s 到 $t=0.25$ s,该波沿 x 轴负方向传播了 6 m

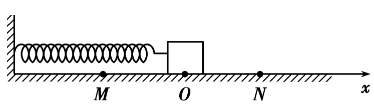
D.从 $t=0.10$ s 到 $t=0.25$ s,质点 P 通过的路程为 30 cm

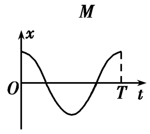
E.质点 Q 简谐运动的表达式为 $y=0.10\sin 10\pi t$(国际单位制)

答案　BCE　由图(a)得 $\lambda=8$ m,由图(b)得 $T=0.2$ s,所以 $v=\dfrac{\lambda}{T}=40$ m/s。由图(b)知,在 $t=0.10$ s 时,质点 Q 通过平衡位置向 y 轴负方向运动,A 错误。结合图(a),由"同侧法"判得波沿 x 轴负方向传播,画出 $t=0.25$ s 时的波形图,标出 P、Q 点,如图,此时 P 点在 x 轴下方,其加速度向上,B 正确。$\Delta t=0.25\text{ s}-0.10\text{ s}=0.15$ s,$\Delta x=v\cdot\Delta t=6$ m,C 正确。P 点起始位置不在平衡位置或最大位移处,故 D 错误。由图知 $A=0.10$ m,$\omega=\dfrac{2\pi}{T}=10\pi$ rad/s,所以 Q 点简谐运动表达式为 $y=0.10\sin 10\pi t$(国际单位制),E 正确。

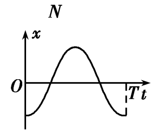


11.(2016 北京理综,15,6 分)如图所示,弹簧振子在 M、N 之间做简谐运动。以平衡位置 O 为原点,建立 Ox 轴。向右为 x 轴正方向。若振子位于 N 点时开始计时,则其振动图像为　(　　)

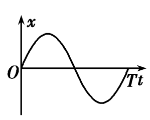




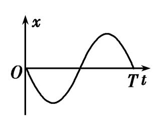
A



B



C



D

答案　A　振子在 N 点时开始计时,其位移为正向最大,并按正弦规律变化,故选项 A 正确。

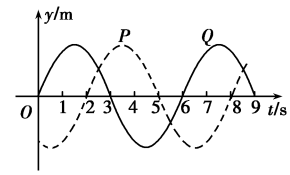
12.(2015 四川理综,2,6 分)平静湖面传播着一列水面波(横波),在波的传播方向上有相距 3 m 的甲、乙两小木块随波上下运动,测得两小木块每分钟都上下 30 次,甲在波谷时,乙在波峰,且两木块之间有一个波峰。这列水面波　(　　)

A.频率是 30 Hz　　B.波长是 3 m

C.波速是 1 m/s　　D.周期是 0.1 s

答案　C　波的周期 $T=\dfrac{60}{30}\text{ s}=2$ s,$f=\dfrac{1}{T}=0.5$ Hz,$1.5\lambda=3$ m,$\lambda=2$ m,则波速 $v=\dfrac{\lambda}{T}=\dfrac{2}{2}$ m/s$=1$ m/s,A、B、D 错误,C 正确。

13.(2016 四川理综,6,6 分)(多选)简谐横波在均匀介质中沿直线传播,P、Q 是传播方向上相距 10 m 的两质点。波先传到 P,当波传到 Q 开始计时,P、Q 两质点的振动图像如图所示。则　(　　)



A.质点 Q 开始振动的方向沿 y 轴正方向

B.该波从 P 传到 Q 的时间可能为 7 s

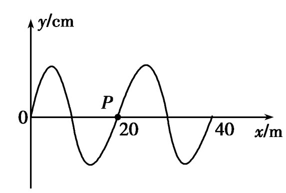
C.该波的传播速度可能为 2 m/s

D.该波的波长可能为 6 m

答案　AD　由图可知,$t=0$ 时质点 Q 处于平衡位置,$t=\dfrac{T}{4}$ 时运动至波峰,故其起振方向沿 y 轴正方向,A 正确;仍由图可知,$T=6$ s,质点 Q 比质点 P 到达同一振动状态晚了 $\Delta t=nT+\dfrac{2}{3}T=(6n+4)$ s$(n=0,1,2,\cdots)$,此即为该波从 P 传到 Q 所需的时间,当 $\Delta t=7$ s 时 $n=\dfrac{1}{2}$,故 B 错误;由 $v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=\dfrac{10}{6n+4}$ m/s知,当 $v=2$ m/s时 $n=\dfrac{1}{6}$,故 C 错误;再由 $\lambda=vT=\dfrac{60}{6n+4}$ m 知,当 $n=1$ 时$\lambda=6$ m,故 D 正确。

方法技巧　此题可以找 P 的特殊位置点,便于分析找出其波长的规律。

14.(2015 北京理综,15,6 分)周期为 2.0 s 的简谐横波沿 x 轴传播,该波在某时刻的图像如图所示,此时质点 P 沿 y 轴负方向运动。则该波　(　　)



A.沿 x 轴正方向传播,波速 $v=20$ m/s

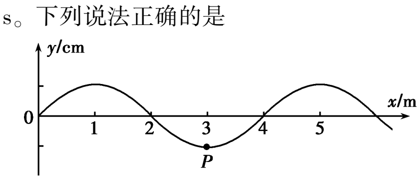
B.沿 x 轴正方向传播,波速 $v=10$ m/s

C.沿 x 轴负方向传播,波速 $v=20$ m/s

D.沿 x 轴负方向传播,波速 $v=10$ m/s

答案　B　由质点 P 沿 y 轴负方向运动,可知波沿 x 轴正方向传播,波速 $v=\dfrac{\lambda}{T}=\dfrac{20\text{ m}}{2.0\text{ s}}=10$ m/s,B 项正确。

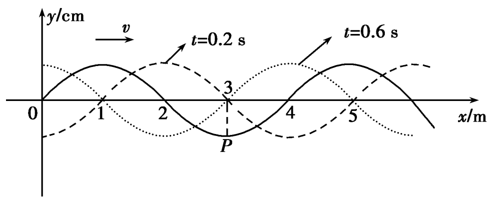
15.[2015 海南单科,16(1),4 分](多选)一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形如图所示,质点 P 的 x 坐标为 3 m。已知任意振动质点连续 2 次经过平衡位置的时间间隔为 0.4 s。下列说法正确的是　(　　)



A.波速为 4 m/s
B.波的频率为 1.25 Hz
C.x 坐标为 15 m 的质点在 $t=0.6$ s 时恰好位于波谷
D.x 坐标为 22 m 的质点在 $t=0.2$ s 时恰好位于波峰
E.当质点 P 位于波峰时,x 坐标为 17 m 的质点恰好位于波谷

答案　**BDE**　任意振动质点连续两次通过平衡位置的过程所用时间为半个周期,即 $\frac{1}{2}T=0.4$ s,$T=0.8$ s,$f=\frac{1}{T}=1.25$ Hz,选项 B 正确;由题图知:该波的波长 $\lambda=4$ m,波速 $v=\frac{\lambda}{T}=5$ m/s,选项 A 错误;

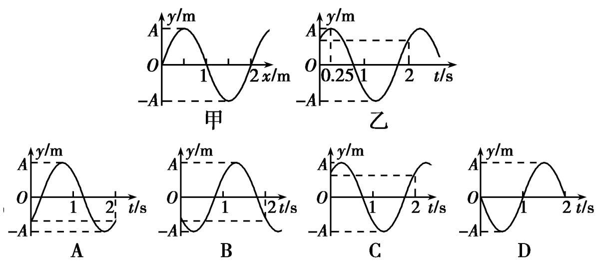
画出 $t=0.6$ s 时波形图如图所示,因 15 m$=3\lambda+\frac{3}{4}\lambda$,故 x 坐标为 15 m 的质点与 $x=3$ m 处的质点振动情况一样,即在平衡位置向下振动,选项 C 错误;



画出 $t=0.2$ s 时波形图如图所示,因 22 m$=5\lambda+\frac{1}{2}\lambda$,故 $x=22$ m处的质点与 $x=2$ m 处的质点振动情况一样,即在波峰位置,选项 D 正确;

因质点 P 与 $x=17$ m 处质点平衡位置间距离 $\Delta x=14$ m$=3\lambda+\frac{1}{2}\lambda$,故两质点振动步调相反,选项 E 正确。

16.(**2014 四川理综,5,6 分**)如图所示,甲为 $t=1$ s 时某横波的波形图像,乙为该波传播方向上某一质点的振动图像,距该质点 $\Delta x=0.5$ m 处质点的振动图像可能是　(　　)



答案　**A**　由图甲知波长 $\lambda=2$ m,因此距该质点为 $\Delta x=0.5$ m$=\frac{1}{4}\lambda$ 的质点的振动图像可由图乙图像向左或向右平移 $\frac{T}{4}=0.5$ s 得到,故只有 A 图像正确。

17.[**2017 江苏单科,12B(2)**]野生大象群也有自己的“语言”。研究人员录下象群“语言”交流时发出的声音,发现以 2 倍速度快速播放录音时,能听到比正常播放时更多的声音。播放速度变为原来的 2 倍时,播出声波的________(选填“周期”或“频率”)也变为原来的 2 倍,声波传播速度________(选填“变大”、“变小”或“不变”)。

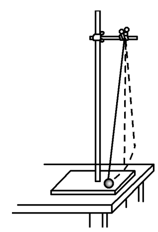
答案　频率　不变

解析　播放速度变为原来的 2 倍时,播出的声波的频率也变为原来的 2 倍。声波的传播速度取决于传播的介质,故速度不变。

18.[**2015 天津理综,9(2)**]某同学利用单摆测量重力加速度。

①为了使测量误差尽量小,下列说法正确的是________。
A.组装单摆须选用密度和直径都较小的摆球
B.组装单摆须选用轻且不易伸长的细线
C.实验时须使摆球在同一竖直面内摆动
D.摆长一定的情况下,摆的振幅尽量大

②如图所示,在物理支架的竖直立柱上固定有摆长约 1 m的单摆。实验时,由于仅有量程为 20 cm、精度为 1 mm 的钢板刻度尺,于是他先使摆球自然下垂,在竖直立柱上与摆球最下端处于同一水平面的位置做一标记点,测出单摆的周期 T_1;然后保持悬点位置不变,设法将摆长缩短一些,再次使摆球自然下垂,用同样方法在竖直立柱上做另一标记点,并测出单摆的周期 T_2;最后用钢板刻度尺量出竖直立柱上两标记点之间的距离 ΔL。用上述测量结果,写出重力加速度的表达式 $g=$________。

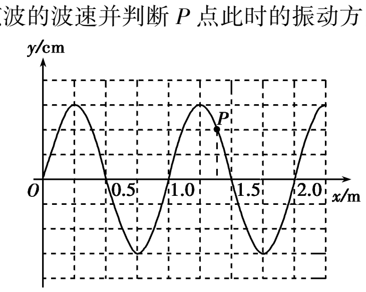


答案　①BC　②$\frac{4\pi^2\Delta L}{T_1^2-T_2^2}$

解析　①应选用密度较大且直径较小的摆球,A 错。在摆动中要尽力保证摆长不变,故应选用不易伸长的细线,B 对。摆动中要避免单摆成为圆锥摆,摆球要在同一竖直面内摆动,C 对。摆动中摆角要控制在 5°以内,所以 D 错。

②设两次摆动时单摆的摆长分别为 L_1 和 L_2,则 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{L_1}{g}}$,$T_2=2\pi\sqrt{\frac{L_2}{g}}$,则 $\Delta L=\frac{g}{4\pi^2}(T_1^2-T_2^2)$,因此,$g=\frac{4\pi^2\Delta L}{T_1^2-T_2^2}$。

19.[**2015 重庆理综,11(2),6 分**]图为一列沿 x 轴正方向传播的简谐机械横波某时刻的波形图,质点 P 的振动周期为 0.4 s。求该波的波速并判断 P 点此时的振动方向。



答案　2.5 m/s　沿 y 轴正向

解析　由波形图直接看出波长 $\lambda=1$ m,

由题意知 $T=0.4$ s,所以波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{1}{0.4}$ m/s$=2.5$ m/s。

因为这列波沿 x 轴正方向传播,根据波的传播方向与质点振动方向的关系可知质点 P 在该时刻振动方向沿 y 轴正向。

3年模拟 2018-2020

对应学生用书起始页码 290

时间:55分钟 分值:80分

一、选择题(每小题6分,共24分)

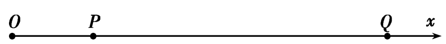
1.(2018河南郑州调研,8)弹簧振子在振动过程中,振子经过 a、b 两点时的速度相等,且从 a 点运动到 b 点最短历时为0.2 s,从 b 点再到 b 点最短历时0.2 s,则这个弹簧振子的振动周期和频率分别为 ( )

A.0.4 s,2.5 Hz　　B.0.8 s,2.5 Hz

C.0.4 s,1.25 Hz　　D.0.8 s,1.25 Hz

答案 D 由于振子经过 a、b 两点时的速度相等,则 a、b 两点关于平衡位置是对称的,由题意知,振子从 a 经平衡位置后到达 b 的最短时间为0.2 s;从 b 再回到 b 的最短时间为0.2 s,即从 b 到达最大位移处后直接再回到 b 的时间为0.2 s,根据简谐运动的特点可知,该两个过程的时间之和为半个周期,因此弹簧振子的振动周期为 $T=0.8$ s,振动频率 $f=\frac{1}{T}=1.25$ Hz,选项D正确。

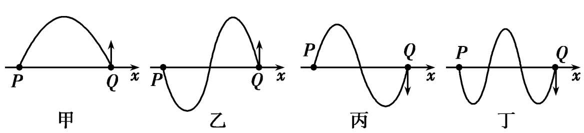
2.[2020届河北五校联考,34(1)](多选)一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波,波速为 v,P、Q 是沿波传播方向上相距为 a 的两质点,如图所示。某时刻 P、Q 两质点都处于平衡位置,且 P、Q 间仅有一个波峰,经过时间 t,Q 质点第一次运动到波峰,则 t 可能等于 ( )



A.$\frac{a}{2v}$　B.$\frac{3a}{2v}$　C.$\frac{a}{4v}$　D.$\frac{3a}{4v}$　E.$\frac{a}{v}$

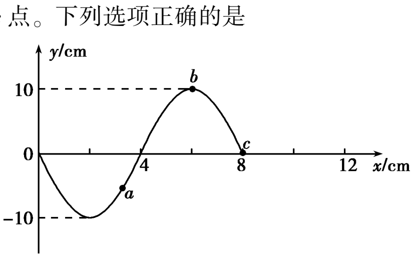
答案 ACD 本题考查了机械波波形不确定造成的多解问题,体现了科学思维中科学推理要素。

当质点 Q 此时正向上运动时,对应波形如图甲、乙所示;当质点 Q 此时正向下运动时,对应波形如图丙、丁所示。图甲中,波长 $\lambda=2a$,$T=\frac{\lambda}{v}$,所以 $t=\frac{T}{4}=\frac{a}{2v}$;同理图乙中,$t=\frac{a}{4v}$;图丙中,$t=\frac{3a}{4v}$;图丁中,$t=\frac{a}{2v}$。所以A、C、D对。



甲　乙　丙　丁

3.(2019山西运城一模,17)(多选)一列简谐横波沿 x 轴正方向传播,在 $t=0$ 时刻的波形图如图所示。已知波速为0.4 m/s,且波刚传到 c 点。下列选项正确的是 ( )



A.波源的振动周期为0.2 s

B.$t=0$ 时,质点 c 点沿 y 轴正方向运动

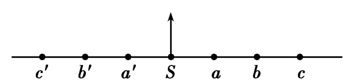
C.在 $t=0$ 时,质点 a 的加速度比质点 b 的加速度小

D.质点 a 比质点 b 先回到平衡位置

E.$t=0.1$ s时,质点 c 将运动到 $x=12$ cm处

答案 ABC 从图中可知波长 $\lambda=8$ cm$=0.08$ m,故振动周期 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{0.08}{0.4}$ s$=0.2$ s,A正确;根据走坡法可知质点 c 正通过平衡位置向上振动,B正确;根据回复力公式 $F=-kx$ 可知在 $t=0$ 时刻质点 a 的位移比质点 b 的位移小,即质点 a 的回复力小于质点 b 的回复力,所以质点 a 的加速度小于质点 b 的加速度,C正确;$t=0$ 时刻质点 a 正向下振动,即要回到平衡位置所需要的时间大于四分之一周期,而质点 b 回到平衡位置所需时间等于四分之一周期,故质点 b 比质点 a 先回到平衡位置,D错误;波上的质点只在平衡位置上下振动,不随波迁移,E错误。

4.(2018安徽六校联考)(多选)波源 S 在 $t=0$ 时刻从平衡位置开始向上振动,形成向左、右两侧传播的简谐横波。a、b、c 和 a'、b'、c' 是沿波传播方向上的间距为2 m的6个质点,$Sa=Sa'=2$ m,$t=0$ 时刻各质点均处于平衡位置,如图所示。已知波的传播速度为4 m/s,当 $t=0.25$ s时波源 S 第一次达最高点,则下列说法正确的是 ( )



A.$t=5.25$ s时质点 b' 处于波谷

B.$t=1.35$ s时质点 a 的速度正在增大

C.波传到 c 质点时,质点 c 开始向上振动

D.任意时刻质点 a 与质点 a' 的振动状态完全相同

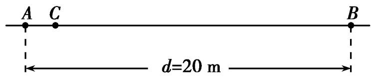
E.若接收器向距它20 m的波源 S 匀速远离,接收器接收到的频率将大于1 Hz

答案 BCD 波源 S 在 $t=0$ 时刻从平衡位置开始向上振动,当 $t=0.25$ s时波源 S 第一次达最高点,波源 S 振动了 $\frac{1}{4}$ 周期,波的周期为 $T=4\times0.25$ s$=1$ s,波传到 b' 质点的时间为 $t=\frac{4\text{ m}}{4\text{ m/s}}=1$ s,则 $T=5.25$ s时,b' 质点已经振动了4.25 s$=4\frac{1}{4}T$,又波源的起振方向向上,则 $t=5.25$ s时质点 b' 处于波峰位置,选项A错误;波传到 a 质点经历的时间是 $\frac{2\text{ m}}{4\text{ m/s}}=0.5$ s,则 $t=1.35$ s时,a 质点已经振动了0.85 s$=\frac{3}{4}T+\frac{1}{10}T$,又 a 质点初始时由平衡位置向上振动,则知 $t=1.35$ s时质点 a 在波谷与平衡位置之间向平衡位置运动,速度正在增大,选项B正确;因波源 S 起振方向向上,则当波传到 c 质点时,质点 c 的振动方向向上,选项C正确;因质点 a 与质点 a' 与波源距离相同,则任意时刻质点 a 与质点 a' 的振动状态完全相同,选项D正确;波的频率为1 Hz,根据多普勒效应可知,若接收器向距它20 m的波源 S 匀速远离,则接收器接收到的频率将小于1 Hz,选项E错误。

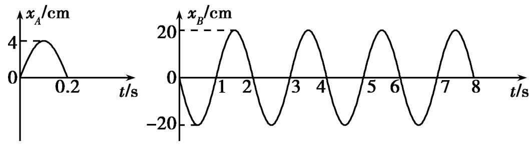
二、非选择题(共56分)

5.(10分)[2018山西大同联考,34(2)]如图甲所示,在某介质中波源 A、B 相距 $d=20$ m;$t=0$ 时两者开始上下振动,A 只振动了半个周期,B 连续振动,已知两波源之间连线上距 A 点1 m处的质点 C 在 $t=0$ 到 $t=22$ s内所经过的路程为128 cm,开始阶段两波源的振动图像如图乙所示(A、B 所形成的波传播速

度大小相等),求:



图甲



图乙

(ⅰ)在 $t=0$ 到 $t=22$ s 内,质点 C 遇到 B 形成的波在前进过程中的波峰的个数;

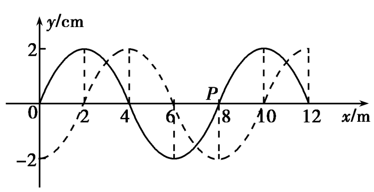
(ⅱ)波源 A、B 所形成的波的传播速度。

答案　(ⅰ)1　(ⅱ)1.0 m/s

解析　(ⅰ)两波源之间连线上 C 质点在 $t=0$ 到 $t=22$ s 内所经过的路程为 $s_1+s_2=128$ cm,C 质点在 A 形成的波传播时振动的路程 $s_1=2\times4$ cm$=8$ cm;C 质点在 B 形成的波传播时振动的路程 $s_2=120$ cm。则 B 形成的波传播经过 C 质点,使 C 质点振动了 1.5 个周期,质点 C 遇到 B 形成的波在前进过程中波峰的个数为 1。

(ⅱ)由图乙知 $T_B=2$ s,B 形成的波传播 19 m 所用时间为:$t=22\text{ s}-1.5\times2\text{ s}=19$ s,传播速度为:$v=\dfrac{x}{t}=1.0$ m/s。

6.(10 分)[**2020 届河北保定联考,33(2)**]一列简谐横波在 x 轴上传播,在 $t_1=0$ 和 $t_2=0.05$ s 时,其波形分别用如图所示的实线和虚线表示,求:



①这列波可能具有的波速。

②当波速为 280 m/s 时,波的传播方向如何?以此波速传播时,$x=8$ m 处的质点 P 从平衡位置运动至波谷所需的最短时间是多少?(结果保留两位有效数字)

答案　见解析

解析　①若波沿 x 轴正向传播,则:

$\Delta s=\Delta x_1+n\lambda=(2+8n)$ m,$n=0,1,2,\cdots$

$v=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}=\dfrac{2+8n}{0.05}$ m/s$=(40+160n)$ m/s

若波沿 x 轴负向传播,则:

$\Delta s'=\Delta x_2+n\lambda=(6+8n)$ m,$n=0,1,2,\cdots$

$v'=\dfrac{\Delta s'}{\Delta t}=\dfrac{6+8n}{0.05}$ m/s$=(120+160n)$ m/s

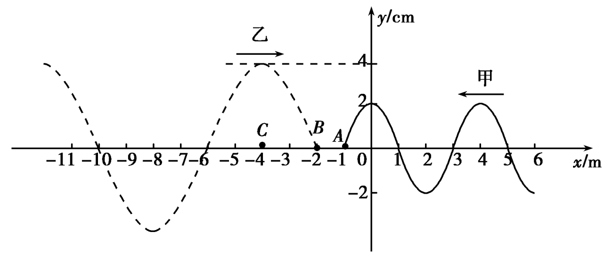
②当波速为 280 m/s 时,有 280 m/s$=(120+160n)$ m/s,$n=1$,所以波沿 x 轴负方向传播

$T=\dfrac{\lambda}{v}=\dfrac{1}{35}$ s

所以 P 质点第一次到达波谷所需最短时间为:

$t=\dfrac{3T}{4}=\dfrac{3}{140}$ s$=2.1\times10^{-2}$ s

7.(12 分)(**2019 东北三省四市教研联合体模拟一,16**)甲、乙两列横波传播速率相同,分别沿 x 轴负方向和正方向传播,t_0 时刻两列波的前端刚好分别传播到质点 A 和质点 B,如图所示,以 t_0 时刻为计时起点,已知甲波的频率为 5 Hz,求:



(1)t_0 时刻之前,x 轴上的质点 C 振动了多长时间?

(2)在 t_0 时刻之后的 0.9 s 内,$x=0$ 处的质点位移为+6 cm 的时刻。

答案　(1)0.1 s　(2)0.2 s 和 0.6 s

解析　(1)由题中条件可知,甲波的周期为:$T_甲=\dfrac{1}{f_甲}=0.2$ s

波速为:$v=\lambda_甲 f_甲=20$ m/s

乙波的周期为:$T_乙=\dfrac{\lambda_乙}{v}=0.4$ s

由图可知,C 点开始振动的时刻距图中时刻为:$t_C=\dfrac{1}{4}T_乙$

得质点 C 已振动时间:$t_C=0.1$ s

(2)$x=0$ 处的质点位移为+6 cm,表明两列波的波峰同时到达 $x=0$ 处。

甲波的波峰到达 $x=0$ 处的时刻为:

$t_甲=mT_甲(m=0,1,2,3,\cdots)$

乙波的波峰到达 $x=0$ 处的时刻为:

$t_乙=\left(n+\dfrac{1}{2}\right)T_乙(n=0,1,2,3,\cdots)$

令 $t_甲=t_乙$

解得:$m=2n+1$

$n=0$ 时,$m=1$,$t=0.2$ s

$n=1$ 时,$m=3$,$t=0.6$ s

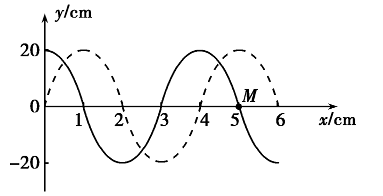
$n=2$ 时,$m=5$,$t=1$ s

可知:在之后的 0.9 s 内,$x=0$ 处的质点位移为+6 cm 的时刻为 0.2 s 和 0.6 s

考查点　机械波

温馨提示　$x=0$ 处质点的位移为+6 cm,是两列波波峰同时传到此点的时刻,会有多解。

8.(14 分)(**2019 重庆南开中学适应性考试,16**)如图所示,实线是一列简谐横波在 $t_1=0$ 时刻的波形图,虚线是 $t_2=0.2$ s 时刻的波形图。



(1)若周期 T 符合 $2T<t_2-t_1<3T$,且波向 x 轴正方向传播,波速多大?

(2)若周期 T 符合 $2T<t_2-t_1<3T$,且波向 x 轴负方向传播,波速多大?

(3)在 t_1 到 t_2 的时间内,如果 M 通过的路程为 1 m,那么

波的传播方向怎样？波速多大？

答案 (1)0.45 m/s (2)0.55 m/s

(3)向 x 轴正方向传播 0.25 m/s

解析 由图可知，波长 $\lambda=4\ \text{cm}=0.04\ \text{m}$

(1)波向 x 轴正方向传播，那么经过 t_2-t_1，波向右传播了 $n+\frac{1}{4}(n\in\mathbf{N})$ 个周期，故有 $t_2-t_1=\left(n+\frac{1}{4}\right)T$；

又有 $2T<t_2-t_1<3T$，所以 $t_2-t_1=\left(2+\frac{1}{4}\right)T=\frac{9}{4}T$，

故波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{\lambda}{\frac{4}{9}(t_2-t_1)}=0.45\ \text{m/s}$

(2)波向 x 轴负方向传播，那么经过 t_2-t_1，波向左传播了 $n+\frac{3}{4}(n\in\mathbf{N})$ 个周期，故有 $t_2-t_1=\left(n+\frac{3}{4}\right)T$；

又有 $2T<t_2-t_1<3T$，所以 $t_2-t_1=\left(2+\frac{3}{4}\right)T=\frac{11}{4}T$，

故波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{\lambda}{\frac{4}{11}(t_2-t_1)}=0.55\ \text{m/s}$

(3)在 t_1 到 t_2 的时间内，如果 M 通过的路程为 $1\ \text{m}=5A$，而一个周期质点的路程为 $4A$，

根据 $t_1=0$ 时刻质点 M 在平衡位置可知，t_1 到 t_2 的时间为 $\frac{5}{4}T$，即 $t_2-t_1=\frac{5}{4}T$，

那么由(1)中的分析可知，波向 x 轴正方向传播，$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{\lambda}{\frac{4}{5}(t_2-t_1)}=0.25\ \text{m/s}$

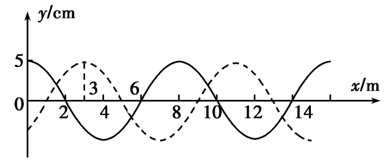
考查点 机械波

温馨提示 机械波的多解问题有以下几种情况：①波的传播方向不确定，有两种可能解；②波形移动的距离 x 与波长 λ 的关系不确定，必有系列解；③波形变化的时间 Δt 与周期 T 的关系不确定，必有系列解；④两点间波形不确定形成多解。

9.(10分)[2019四川遂宁三诊,34(2)]如图所示，一列简谐横波沿 x 轴正方向传播，实线和虚线分别为 $t_1=0$ 时与 $t_2=2\ \text{s}$ 时的波形图像，已知该波中各个质点的振动周期大于 4 s。求：

(ⅰ)该波的传播速度大小；

(ⅱ)从 $t_1=0$ 开始计时，写出 $x=1\ \text{m}$ 处质点的振动方程。



答案 (ⅰ)1.5 m/s (ⅱ)$y=0.05\sin\left(\frac{3}{8}\pi t+\frac{\pi}{4}\right)$(m)

解析 (ⅰ)设质点振动周期为 T，由题可知，$T>4\ \text{s}$

由图可知，波长 $\lambda=8\ \text{m}$

从 t_1 到 t_2 时间内，波传播的时间为 $\Delta t=t_2-t_1=2\ \text{s}<T/2$

则 Δt 时间内波传播的距离为 $s=\frac{3}{8}\lambda$

波的传播速度大小为 $v=\frac{s}{\Delta t}$

解得：$v=1.5\ \text{m/s}$

(ⅱ)设 $x=1\ \text{m}$ 处的质点振动方程为：$y=A\sin(\omega t+\varphi)$

波的振幅为 $A=5\ \text{cm}$

由 $v=\frac{\lambda}{T}$ 可得：$T=\frac{\lambda}{v}=\frac{16}{3}\ \text{s}$

角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{3}{8}\pi\ \text{rad/s}$

$t_1=0$ 时，$x=1\ \text{m}$ 处质点的位移为 $y_1=A\cos\frac{1}{8}\times2\pi=\frac{5\sqrt{2}}{2}\ \text{cm}$

由图可知 $t_1=0$ 时 $x=1\ \text{m}$ 处的质点向 y 轴正方向振动，则有 $\varphi=\frac{\pi}{4}$

则 $x=1\ \text{m}$ 处的质点振动方程为：$y=0.05\sin\left(\frac{3}{8}\pi t+\frac{\pi}{4}\right)$(m)

5年高考3年模拟 命题探究 | 考点精析 | 题组训练

专题十七　光学、电磁波与相对论初步

探考情 悟真题

5 年考情探究 真题典例探秘

考情探究

对应学生用书起始页码 201

考点	考向	5 年考情					预测热度
		考题示例	学业水平	关联考点	素养要素	解法	
光的折射与全反射	折射与全反射	2019 课标Ⅰ,34(2),10 分	3		科学推理		★★★
		2019 课标Ⅲ,34(2),10 分	3		科学论证		
		2018 课标Ⅰ,34(1),5 分	3		科学推理	图像法	
		2018 课标Ⅲ,34(2),10 分	4		科学推理		
		2017 课标Ⅰ,34(2),10 分	3		科学推理		
		2017 课标Ⅱ,34(2),10 分	4		科学推理		
		2017 课标Ⅲ,34(2),10 分	4		科学推理		
		2016 课标Ⅰ,34(2),10 分	4		科学推理		
		2016 课标Ⅲ,34(2),10 分	4		科学推理		
		2015 课标Ⅱ,34(1),5 分	3		科学推理		
		2019 天津理综,9(2)	3		证据		
光的波动性	光的干涉	2019 课标Ⅱ,34(2),10 分	3		科学推理		★★★
		2017 课标Ⅱ,34(1),5 分	3		科学推理		
		2019 北京理综,14,6 分	3		科学推理		
		2019 浙江 4 月选考,14,2 分	2		能量观念		
电磁波、相对论初步	电磁波	2016 课标Ⅱ,34(1),5 分	3		科学推理		★★★
		2016 天津理综,1,6 分	3		科学推理		
		2017 北京理综,20,6 分	3		科学推理		

分析解读

本专题内容为新课标高考的选考内容,是选修模块 3-4 中的重要部分之一,高考命题为了突出知识的覆盖面,该部分出题的可能性很大。

光学部分体现了几何光学和物理光学的基本规律和重要的研究方法,研究了光的传播规律、光的本性及它们在科技、生活中的重要应用。复习时应在理解概念和规律上多下功夫。重点是光的折射、色散、全反射、光的干涉、衍射现象以及利用它们分析解决实际问题。在几何光学中,正确作图是基础,应结合规律和几何关系进行分析解决问题。在物理光学中,应正确理解产生现象的原因和条件,并能熟练运用其解决实际问题。

电磁波与相对论初步的知识点比较多,但均为Ⅰ级要求,因此复习本部分内容时应以课本为主。重点内容是:电磁波的概念和规律的理解,以电磁波内容为背景的波的传播和能量的辐射;相对论时空观、狭义相对论的两个基本假设、质速关系和质能关系。

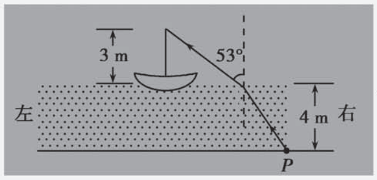
真题探秘

对应学生用书起始页码 202

[2019课标Ⅰ，34(2)，10分] 如图，一艘帆船静止在湖面上，帆船的竖直桅杆顶端高出水面3 m。距水面4 m的湖底P点发出的激光束，从水面出射后恰好照射到桅杆顶端，该出射光束与竖直方向的夹角为53°(取sin 53° =0.8)。已知水的折射率为$\frac{4}{3}$。

创设试题情景：光由水介质射向空气介质发生折射现象

给出折射角和折射率，应用折射定律列方程



在光路图中，建立直角三角形，由几何关系确定出边角关系

(ⅰ)求桅杆到P点的水平距离；

(ⅱ)船向左行驶一段距离后停止，调整由P点发出的激光束方向，当其与竖直方向夹角为45°时，从水面射出后仍照射在桅杆顶端，求船行驶的距离。

设问中的水平距离，隐含着光束从水面射出的点到桅杆的水平距离和到P点的水平距离之和，由折射定律，结合几何关系可求结果

设问中船移动后停止，光线经折射后仍照射到桅杆顶端

① 核心要点

光的折射及折射定律、几何关系。

② 情景解读

光从水射向空气时，画出折射光路图，根据折射定律和几何关系得出结论。

③ 思路分析

根据光路和建立的直角三角形，找出入射角、折射角对应的正切值，结合折射定律，问题得以解决；同样，当船的位置发生变化时，作出相应的光路，运用几何关系，确定出相关的待求量。

④ 能力要求

作图能力和灵活应用几何关系解决实际问题的能力。

⑤ 答案

详细解析见408页5年高考A组第5题

破考点 练考向

考点考向清单
考点题霸集训

考点清单

对应学生用书起始页码 202

考点一 光的折射与全反射

考向基础

一、光的折射与全反射

1.光的折射

光从一种介质斜射入另一种介质，传播方向发生改变的现象叫做光的折射。

折射定律：折射光线、入射光线和法线在同一平面内；折射光线、入射光线分居法线两侧；入射角的正弦与折射角的正弦成正比。

在折射现象中，光路是可逆的。

2.折射率

(1)定义：光从真空射入某种介质发生折射时，入射角的正弦与折射角的正弦之比，叫做这种介质的折射率。

(2)定义式：$n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$($\theta_1$表示真空中光线与法线的夹角，$\theta_2$表示介质中光线与法线的夹角)。

(3)实验证明：$n=\frac{c}{v}$(c表示光在真空中的速度，v表示光在介质中的速度)。

特别需要注意的是：任何介质的折射率均大于1。

(4)光密介质与光疏介质(光密介质与光疏介质是相对的)。

3.全反射

光从光密介质射到光疏介质的界面上时，全部被反射回原介质的现象称为全反射现象。

发生全反射的条件：

(1)光由光密介质射向光疏介质。

(2)入射角大于或等于临界角。(光从某介质射向真空时临界角为$C=\arcsin\frac{1}{n}$)

二、测定玻璃的折射率

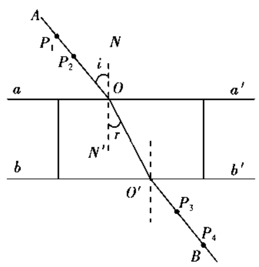
实验原理

用插针法确定光路，找出跟入射光线相对应的折射光线；用量角器测出入射角i和折射角r；根据折射定律计算出玻璃的折射率$n=\frac{\sin i}{\sin r}$。

实验步骤

1.把白纸用图钉钉在木板上；

2.在白纸上画一条直线aa'作为界面，画一条线段AO作为入射光线，并过O点画出界面aa'的法线NN'，如图所示；



3.把玻璃砖放在白纸上,使它的一个边跟 aa' 对齐,并画出玻璃砖的另一个边 bb';

4.在 AO 线段上竖直地插上两枚大头针 P_1 和 P_2;

5.在玻璃砖的 bb' 一侧竖直地插上大头针 P_3,用眼睛观察,调整视线,要使 P_3 能同时挡住 P_1 和 P_2 的像;

6.同样地在玻璃砖的 bb' 一侧再竖直地插上大头针 P_4,使 P_4 能挡住 P_3 本身和 P_1、P_2 的像;

7.记下 P_3 和 P_4 的位置,移去玻璃砖和大头针,过 P_3 和 P_4 作直线 $O'B$ 与 bb' 交于 O',连接 O、O',OO' 就是玻璃砖内的折射光线,入射角 $i=\angle NOA$,折射角 $r=\angle O'ON'$;

8.算出不同入射角时 $\frac{\sin i}{\sin r}$ 的值。比较一下,看它们是否接近一个常数,求出几次实验中所测 $\frac{\sin i}{\sin r}$ 的平均值,这就是玻璃砖的折射率。

注意事项

1.玻璃砖要厚,用手拿玻璃砖时,只能接触玻璃毛面或棱,严禁用玻璃砖当尺子画界面;

2.入射角应在30°到60°之间;

3.大头针要竖直插在白纸上,且玻璃砖每一侧两枚大头针 P_1 与 P_2 间、P_3 与 P_4 间的距离应尽量大一些,以减小确定光路方向时造成的误差;

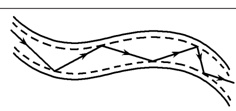
4.玻璃砖的折射面要画准;

5.由于要多次改变入射角重复实验,所以入射光线与出射光线要一一对应编号,以免混乱。

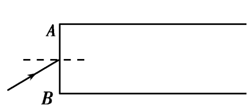
考向突破

考向　折射与全反射

全反射的应用——光导纤维

<table>
<tr><td rowspan="5">光导纤维</td><td colspan="2">构造</td><td>由内芯和外套组成,内芯的折射率比外套的大,光传播时在内芯与外套的界面上发生全反射</td></tr>
<tr><td colspan="2">传播路径</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">光纤通信</td><td>原理</td><td>光的全反射</td></tr>
<tr><td>方法</td><td>光也是一种电磁波,也可以像无线电波那样,作为载体来传递信息。载有声音、图像以及各种数字信号的激光从光纤的一端输入,就可以传到千里以外的另一端,实现光纤通信</td></tr>
<tr><td>优点</td><td>光纤通信的主要优点是容量大。此外,光纤通信还有衰减小、抗干扰性强等多方面的优点</td></tr>
</table>

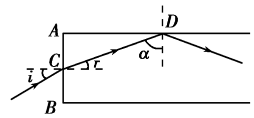
例　如图所示为一光导纤维(可简化为一长玻璃丝)的示意图,玻璃丝长为 L,折射率为 n,AB 代表端面。已知光在真空中的传播速度为 c。



(ⅰ)为使光线能从玻璃丝的 AB 端面传播到另一端面,求光线在端面 AB 上的入射角应满足的条件;

(ⅱ)求光线从玻璃丝的 AB 端面传播到另一端面所需的最长时间。

解析　(ⅰ)设光线在端面 AB 上 C 点(见图)的入射角为 i,折射角为 r,由折射定律有 $\sin i=n\sin r$　①



设该光线射向玻璃丝内壁 D 点的入射角为 α,为了使该光线可在此光导纤维中传播,应有

$\alpha\geqslant\theta$　②

式中,θ 是光线在玻璃丝内发生全反射时的临界角,它满足

$n\sin\theta=1$　③

由几何关系得

$\alpha+r=90°$　④

由①②③④式得

$\sin i\leqslant\sqrt{n^2-1}$　⑤

(ⅱ)光在玻璃丝中传播速度的大小为

$v=\frac{c}{n}$　⑥

光速在玻璃丝轴线方向的分量为

$v_z=v\sin\alpha$　⑦

光线从玻璃丝端面 AB 传播到其另一端面所需时间为

$T=\frac{L}{v_z}$　⑧

光线在玻璃丝中传播,在刚好发生全反射时,光线从端面 AB 传播到其另一端面所需的时间最长,由②③⑥⑦⑧式得

$T_{\max}=\frac{Ln^2}{c}$　⑨

答案　(ⅰ)$\sin i\leqslant\sqrt{n^2-1}$　(ⅱ)$\frac{Ln^2}{c}$

考点二　光的波动性

考向基础

一、光的干涉

频率相同的两列光波相叠加,某些区域的光加强,某些区域的光减弱,并且光加强和减弱的区域互相间隔的现象称为光的干涉现象。

1.双缝干涉:在用单色光做双缝干涉实验时,若双缝处两列光的振动情况完全相同,则在光屏上距双缝的路程差为光波波长整数倍的地方光加强,将出现亮条纹;光屏上距双缝的路程差为光波半波长的奇数倍的地方光减弱,将出现暗条纹。

计算表明相邻两条亮条纹(或暗条纹)间的距离 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$,在两狭缝间的距离 d 和狭缝与屏间的距离 l 不变的条件下,单色光产生的干涉条纹间距跟光的波长 λ 成正比。在用白光做双缝干涉实验时,光屏上除中央亮条纹为白色外,两侧均为彩色的干涉条纹。

2.薄膜干涉:光照射到薄膜上时,薄膜的前、后表面反射的两列光波相叠加,也可发生干涉现象。若入射光为单色光,可形成明暗相间的干涉条纹;若入射光为白光,可形成彩色的干涉条纹。

在薄膜干涉中,同一级亮条纹(或暗条纹)出现在膜的厚度相同处,故此种干涉又常称为等厚干涉。

二、光的衍射

1.光离开直线路径而绕到障碍物阴影里的现象叫做光的衍

射现象。

2.只有在障碍物的尺寸比光的波长小,或者跟光的波长差不多的条件下,才能发生明显的衍射现象。著名的泊松亮斑就是典型的光的衍射现象。

3.单缝衍射图样与双缝干涉图样的区别

a.条纹宽度有区别:双缝干涉条纹是等宽的,相邻亮(暗)条纹间的距离是相等的,而单缝衍射的条纹,中央亮条纹最宽,两侧对称的亮条纹是等宽的。

b.光强分布不同:双缝干涉条纹如果不考虑距离的远近造成传播上的损失,每条亮条纹的光强分布是相同的,而单缝衍射条纹的光强分布主要集中在中央亮条纹,中央亮条纹的光强占整个光强的95%以上。

三、光的偏振

1.偏振现象:横波只沿某一特定方向振动,称为波的偏振现象。

2.自然光:若光源发出的光,包含着在垂直于光传播方向上沿一切方向振动的光,而且沿各个方向振动的光波的强度都相同,这种光叫自然光。

3.偏振光:在垂直于光传播方向的平面上,只沿一个特定方向振动的光,叫偏振光。

4.光的偏振充分说明光是横波,只有横波才有偏振现象。

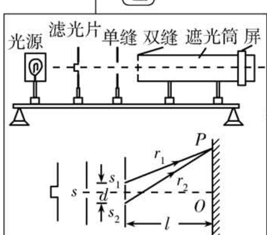
除了从光源直接发出的光以外,我们通常见到的大部分光都是不同程度的偏振光。

四、用双缝干涉测光的波长

1.原理与操作

实验目的:
- (1)了解光产生干涉的方法,观察双缝干涉图样
- (2)测定单色光的波长

实验原理:相邻两条亮条纹间距Δx与入射光波长λ、双缝间距d及双缝与屏的距离l满足关系式为$\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$



实验器材:双缝干涉仪(包括光具座、光源、滤光片、单缝、双缝、遮光筒、毛玻璃屏、测量头、学生电源、导线、刻度尺)

实验步骤:

(1)安装仪器

①将光源、遮光筒、毛玻璃屏依次安放在光具座上

②接好电源,打开开关,使灯丝正常发光。调节各部件的高度,使光源灯丝发出的光能沿轴线到达光屏

③安装单缝和双缝,中心位于遮光筒的轴线上,使双缝和单缝的缝平行

(2)观察与记录

①调单缝与双缝间距为几厘米时,观察白光的干涉条纹

②在单缝和光源间放上滤光片,观察单色光的干涉条纹

③调节测量头,使分划板中心刻度线对齐第1条亮条纹的中心,记下手轮上的读数x_1,转动手轮,使分划板向一侧移动,当分划板中心刻度线与第n条亮条纹中心对齐时,记下手轮上的读数x_2,则相邻两条亮纹间的距离$\Delta x=\frac{|x_2-x_1|}{n-1}$

④换用不同的滤光片,测量其他色光的波长

2.处理与分析

(1)数据处理

用刻度尺测量出双缝到光屏间的距离l,由公式$\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$得$\lambda=\frac{d}{l}\Delta x$计算波长,重复测量、计算,求出波长的平均值。

(2)误差分析

①测条纹间距Δx时产生误差。

②测量双缝到光屏间距离l时产生误差。

3.注意事项

(1)保证光源、单缝、双缝、测量头与遮光筒共轴。(2)保持单缝和双缝平行。

考向突破

考向 光的干涉

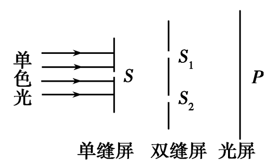
一、双缝干涉

1.影响条纹间距的因素:相邻亮条纹或相邻暗条纹的间距Δx与双缝到屏的距离l成正比,与两狭缝之间的距离d成反比,与光的波长λ成正比,即$\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$。

2.中央位置是亮条纹还是暗条纹的条件:双缝到光屏中央距离相等,光程差为零。如果两光源振动完全一致,中央一定是亮条纹。假如两光源振动正好相反,则中央为暗条纹。

3.单色光颜色、频率、波长的关系:光的颜色由频率决定,光的频率由光源决定,在可见光中红光频率最低,紫光频率最高。真空中各色光光速相同,由$c=\lambda\cdot\nu$知,真空中红光波长最大,紫光波长最小。同样条件下,红光的干涉条纹间距最大,紫光最小。这就是白光干涉条纹中央为白色,两边出现彩色光带的原因。

例1 如图所示的双缝干涉实验,用绿光照射单缝S时,在光屏P上观察到干涉条纹。要得到相邻条纹间距更大的干涉图样,可以 ( )



A.增大S_1与S_2的间距

B.减小双缝屏到光屏的距离

C.将绿光换为红光

D.将绿光换为紫光

解析 由双缝干涉条纹间距公式$\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$可知:增大$S_1$与$S_2$的间距$d$,$\Delta x$将减小,A项错误;减小双缝屏到光屏的距离$l$,$\Delta x$将减小,B项错误;红光波长大于绿光的波长,$\lambda$变大,$\Delta x$将变大,C项正确;紫光波长小于绿光的波长,$\lambda$变小,$\Delta x$将变小,D项错误。

答案 C

二、薄膜干涉

1.成因:薄膜前表面和后表面分别反射出来的两列光波的叠加。这两列波是同一光源发出的、经薄膜前后表面反射的,所以是相干波。由于同一水平线上的薄膜厚度近似相同,所以干涉后能产生水平的明暗条纹。

2.如果膜的厚度为d,则前后表面的反射光的光程差为$2d$,

(1)当$2d$是光波半波长的偶数倍时,出现亮条纹;

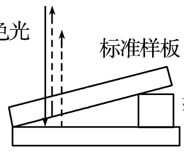
(2)当 $2d$ 是光波半波长的奇数倍时,出现暗条纹。

3.如果膜的厚度均匀变化,若用单色光照射,相邻的条纹间的距离是相等的,若用白光照射,则在薄膜某一厚度的地方某一波长的光反射后增强,而另一些波长的光反射后减弱,这样薄膜上就出现彩色条纹。

4.光的干涉在技术上的应用

(1)干涉法检查平面

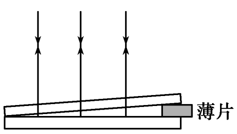
检查精密零件的表面质量好坏;如图所示将被检查平面和放在上面的透明标准样板的一端垫一薄片,使样板的标准平面和被检查平面间形成一个楔形空气薄层,单色光从上面照射,入射光在空气层的上、下表面反射出的两列光波发生干涉,根据干涉条纹的形状来确定零件的表面情况。



(2)镜片增透膜

在光学元件(透镜、棱镜)的表面涂一层薄膜,当薄膜的厚度是光在薄膜中波长的1/4时,在薄膜的两个面上的反射光的光程差恰好等于半波长,因而相互抵消,起到减小反射光、增大透射光强度的作用。

例2 把一平行玻璃板压在另一个平行玻璃板上,一端用薄片垫起,构成空气劈尖,让单色光从上方射入,如图所示,这时可以看到明暗相间的条纹。下面关于条纹的说法中正确的是 ( )



A.干涉条纹的产生是由于光在空气劈尖膜的上下两面反射形成的两列光波叠加的结果

B.干涉条纹中的暗纹是由于上述两列反射光的波谷与波谷叠加的结果

C.将上玻璃板平行上移,条纹向着劈尖移动

D.观察薄膜干涉条纹时,应在入射光的另一侧

解析 根据薄膜干涉的产生原理,上述现象是由空气劈尖膜上下两面反射的两列光波叠加而成的,当波峰与波峰、波谷与波谷相遇叠加时,振动加强,形成亮条纹,所以A项正确,B项错误;因相干光是反射光,故观察薄膜干涉时,应在入射光的同一侧,故D项错误;条纹的位置与空气膜的厚度是对应的,当上玻璃板平行上移时,同一厚度的空气膜向劈尖移动,故条纹向着劈尖移动,故C项正确。

答案 AC

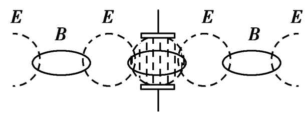
考点三 电磁波、相对论初步

考向基础

1.麦克斯韦电磁场理论

理论内容	变化的磁场能够产生电场,变化的电场能够产生磁场。根据这个理论,周期性变化的电场和磁场相互联系,交替产生,形成一个不可分割的统一体,即电磁场

续表

分析解决	 (1)变化的磁场产生的电场叫感应电场;变化的电场产生的磁场叫感应磁场 (2)感应电场与感应磁场的场线都是闭合的曲线,而且相互正交、套连 (3)感应电场的方向可由楞次定律判定,感应磁场的方向可由安培定则判定

2.电磁波的特性

名称/特性	无线电波	红外线	可见光	紫外线	X射线	γ射线
主要作用	波动性强、易发生衍射	热作用	视觉作用	化学作用、荧光效应、杀菌	穿透作用	贯穿作用
产生机理	振荡电路中自由电子的周期性运动	原子外层电子受激发			原子的内层电子受激发	原子核受激发
真空中的速度	都是 $c=3\times10^8$ m/s					
频率	小→大					
同一均匀介质中速度	大→小					
备注	振荡电路中产生	一切物体都能辐射	由七种色光组成	一切高温物体都能辐射	伦琴射线管中高速电子流射至阳极产生	放射性元素衰变时产生

3.经典时空观与狭义相对论

经典时空观		狭义相对论		
伽利略相对性原理	力学规律在任何惯性系中都是相同的	狭义相对性原理	在不同的惯性参考系中,一切物理规律都是相同的	两个基本假设
		光速不变原理	真空中的光速在不同的惯性参考系中都是相同的	
如果两个事件在一个参考系中是同时的,在另一个参考系中也是同时的		在一个参考系中同时的事件在另一个参考系中可能不同时		同时的相对性
长度不因观察者是否与被观测物体相对运动而改变		$l=l_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$ 沿相对运动方向上长度缩短"尺缩效应"		长度的相对性

续表

经典时空观	狭义相对论	
某两个事件在不同参考系中时间间隔是相同的	$\Delta t=\dfrac{\Delta\tau}{\sqrt{1-\left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}$ “钟慢效应”	时间间隔的相对性
$u=u'+v$	$u=\dfrac{u'+v}{1+\dfrac{u'v}{c^2}}$	速度变换
物体的质量是不变的	$m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-\left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}$	质量
$E_k=\dfrac{1}{2}mv^2$	$E_k=\dfrac{m_0c^2}{\sqrt{1-\left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}-m_0c^2$	动能
—	$E=mc^2$	质能方程

考向突破

考向　电磁波

一、感应电场与静电场

变化的磁场产生的电场,称之为感应电场,也叫涡旋场,跟前面学过的静电场一样,处于电场中的电荷受力的作用,且$F=qE$。

但它们也有显著的区别,最明显的莫过于以下几点:

1.静电场的电场线是非闭合曲线,而感应电场的电场线是闭合曲线;

2.静电场中有电势的概念,而感应电场中无电势的概念;

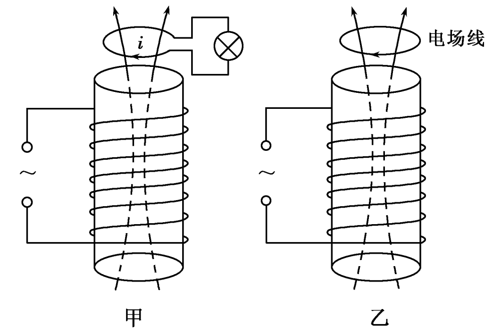
3.在同一静电场中,电荷运动一周(曲线闭合),电场力做功一定为零,而在感应电场中,电荷沿闭合线路运动一周,电场力做功不一定为零;

4.静电场的“源”起于“电荷”,而感应电场的“源”起于变化的磁场。

二、麦克斯韦电磁场理论产生过程的分析

1.变化的磁场在周围空间产生电场

实验基础:法拉第电磁感应现象。如图甲所示带有小灯泡的导体环,放在通有交流电的线圈附近,小灯泡会发光。这是由于穿过导体环的变化磁场,在环中产生了电场从而驱使电荷运动,形成电流。



变化的磁场产生电场(磁场增强时)

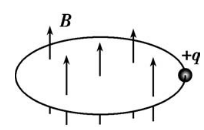
麦克斯韦的推广:没有导体环,变化的磁场在其周围空间同样会产生电场(图乙)。导体环的作用仅是用来显示电场的存在而已。

2.对麦克斯韦电磁场理论的理解

麦克斯韦电磁场理论
- 变化的磁场产生电场
  - 均匀变化的磁场产生恒定电场
  - 非均匀变化的磁场产生变化的电场
  - 振荡的磁场产生同频率振荡的电场
- 变化的电场产生磁场
  - 均匀变化的电场产生恒定磁场
  - 非均匀变化的电场产生变化的磁场
  - 振荡的电场产生同频率振荡的磁场

说明　判断变化的磁场所产生的感应电场的方向可以利用楞次定律。

例　英国物理学家麦克斯韦认为,磁场变化时会在空间激发感生电场。如图所示,一个半径为r的绝缘细圆环水平放置,环内存在竖直向上的匀强磁场B,环上套一带电荷量为$+q$的小球。已知磁感应强度B随时间均匀增加,其变化率为k,若小球在环上运动一周,则感生电场对小球的作用力所做功的大小是　　(　　)



A.0　　B.$\dfrac{1}{2}r^2qk$　　C.$2\pi r^2qk$　　D.πr^2qk

解析　变化的磁场使回路中产生的感生电动势$E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S=k\pi r^2$,则感生电场对小球的作用力所做的功$W=qU=qE=qk\pi r^2$,选项D正确。

答案　D

考点集训

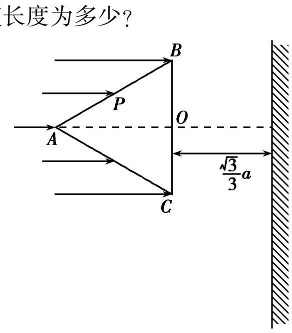
对应学生用书起始页码207

考点一　光的折射与全反射

1.[2018河南八市第一次测评,17(2)]如图所示,玻璃三棱镜的横截面是边长为a的等边三角形,BC面沿竖直方向,O点为BC的中点,现用一束宽为a的单色平行光束水平射向AB及AC面,若玻璃三棱镜对此平行光束的折射率为$\sqrt{3}$。

①求射向AB中点P的光线经折射后直接到达BC边的位置;

②若距O点距离为$\dfrac{\sqrt{3}}{3}a$处放置一平行BC面的光屏,光屏上被照亮的竖直长度为多少?



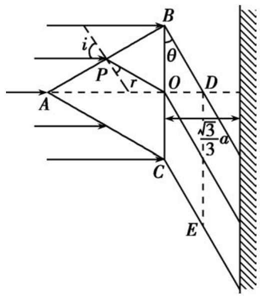
答案　①BC 边的中点　②$2a$

解析　①如图所示，作出部分光线折射后的光路图，由数学知识可得 $i=60°$

由折射定律有 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$

解得 $r=30°$

由数学知识可以知道△BPO 为等边三角形，故射向 AB 中点 P 的光线折射后直接到达 BC 边的中点。



②紧靠 B 点从 BC 面射出的光线与 AO 延长线交于 D 点

由图可以知道：当光屏放在 D 点右侧时，根据对称性知，光屏上形成两条光带，由几何知识可得 $\theta=30°$

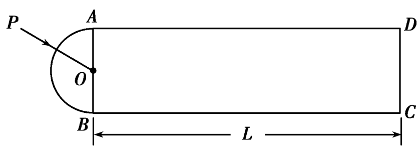
$OD=\dfrac{a}{2}\ \tan\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{6}a$

由于光屏距离 O 点的距离为$\dfrac{\sqrt{3}}{3}a$，因而光屏上形成两条光带，由数学知识可以知道 DE 的长度为 a，根据对称性可以知道，光屏上被照亮的竖直长度为 $2a$。

2.（2019 山西百日冲刺）同一材料制成的透明体由半径为 R 的半球体和长度为 L、半径为 R 的圆柱体组成，截面图如图所示，O 为半球体的球心。某细束单色光沿 PO 方向射向半球面，在 BC 边恰好发生全反射，最后沿与 DC 夹角为 θ 的方向从 CD 边射出，已知光在真空中的速度大小为 c。求

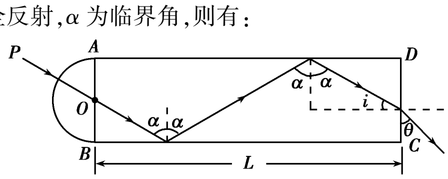
①透明体对该光的折射率 n；

②该光在透明体中传播的时间 t。



答案　见解析

解析　①该光在透明体中的光路如图所示，该光在 BC 边恰好发生全反射，α 为临界角，则有：



$\sin\alpha=\dfrac{1}{n}$

又：$n=\dfrac{\sin(90°-\theta)}{\sin(90°-\alpha)}$

解得：$n=\sqrt{1+\cos^2\theta}$

②由光的折射规律有：$n=\dfrac{c}{v}$

该光沿 AD 方向的分速度大小为：

$v_x=v\sin\alpha$，且 $\sin\alpha=\dfrac{1}{\sqrt{1+\cos^2\theta}}$

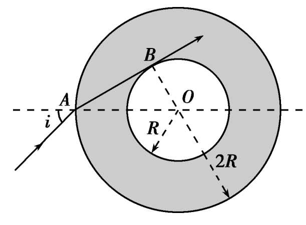
该光在透明体中传播时间为：$t=\dfrac{R\sin\alpha+L}{v_x}$

解得：$t=\dfrac{R\sqrt{1+\cos^2\theta}+L(1+\cos^2\theta)}{c}$

3.（2019 安徽 A10 联盟 2 月联考）如图是某种玻璃材料制成的空心圆柱体的截面图，玻璃圆柱体的半径为 $2R$，空心部分是半径为 R 的圆，两圆同心。一束单色光（平行于截面）从圆柱体外表面上的 A 点以入射角 i 射入玻璃材料中，光束经折射后恰好与内圆面相切于 B 点，已知该玻璃材料对此单色光的折射率为$\sqrt{2}$。

（Ⅰ）求入射角 i；

（Ⅱ）欲使该光束从 A 点入射后，恰好在内圆面上发生全反射，则入射角 i'是多少？



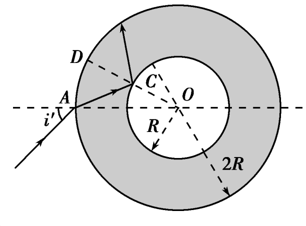
答案　（Ⅰ）45°　（Ⅱ）30°

解析　（Ⅰ）由题意知，设折射角为 r，由几何关系得：$\sin r=\dfrac{BO}{AO}=\dfrac{R}{2R}=0.5$

根据折射定律：$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$

解得：$i=45°$

（Ⅱ）设在 A 点的入射角为 i'时，光束经折射后到达内圆面上 C 点，并在 C 点恰好发生全反射，则光束在内圆面上的入射角∠ACD 恰等于临界角 θ，如图所示



则 $\sin\theta=\dfrac{1}{n}$

解得：$\angle ACD=\theta=45°$

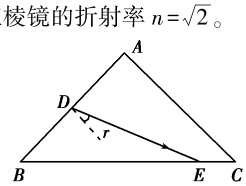
根据正弦定理得：$\dfrac{\sin\angle ACD}{AO}=\dfrac{\sin\angle CAO}{CO}$

解得：$\sin\angle CAO=\dfrac{\sqrt{2}}{4}$

根据折射定律：$n=\dfrac{\sin i'}{\sin\angle CAO}$

解得 $i'=30°$

4.直角等腰玻璃三棱镜 ABC 的截面如图所示，$\angle ABC=\angle ACB=45°$，一条单色光从腰 AB 上的 D 点射入三棱镜，在玻璃内部折射光线为 DE，折射角 $r=30°$，折射光线传播到 BC 边上的 E 点。已知该玻璃三棱镜的折射率 $n=\sqrt{2}$。



（ⅰ）求光线的入射角 i（图中未标出）；

（ⅱ）判断光线能否在 E 点发生全反射。

答案　见解析

解析　本题考查了光的折射和全反射，体现了科学思维中科

学推理要素。

(ⅰ)根据光的折射定律有

$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$

解得 $i=45°$

(ⅱ)根据几何关系有 $\angle DEB=15°$

光线在 BC 边的入射角为 $\alpha=75°$

设光线从玻璃射入空气发生全反射的临界角为 C,则

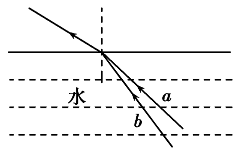
$\sin C=\dfrac{1}{n}$

可得 $C=45°$

由 $\alpha>C$,可得光线在 E 点能发生全反射

考点二　光的波动性

1.[2019 贵州等四省名校联考,34(1)](多选)如图所示,两束单色光 a、b 分别从水下射出水面,会聚成一束光,下列说法正确的是　(　　)



A.真空中,单色光 a 的光速比单色光 b 的光速大

B.单色光 a 在水中折射率小于单色光 b 在水中的折射率

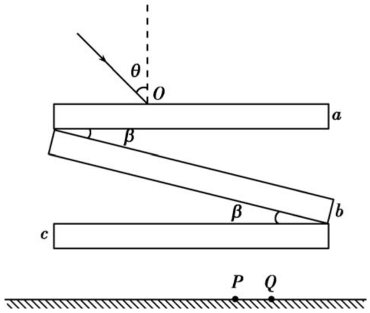
C.将单色光 a、单色光 b 分别通过同一双缝干涉实验装置,所得的干涉条纹中单色光 a 相邻两亮纹中心间的距离大于单色光 b 相邻两亮纹中心间的距离

D.若单色光 a 为偏振光,则单色光 b 也一定为偏振光

E.两束光由水下射向空气时,单色光 a 在水面发生全反射的临界角大于单色光 b 在水面发生全反射的临界角

答案　BCE　光在真空中的传播速度都相同,A 项错误;由图可知单色光 a 的折射率小于单色光 b 的折射率,B 项正确;单色光 a 的折射率较小,所以单色光 a 的波长比单色光 b 的长,单色光 a 干涉条纹中相邻两亮纹中心间的距离大于单色光 b 干涉条纹中相邻两亮纹中心间的距离,C 项正确;自然光和偏振光都可以发生折射,D 项错误;单色光 a 的折射率较小,所以单色光 a 的临界角较大,E 项正确。

2.[2018 宁夏银川一中联考,34(1)](多选)如图所示,a、b 和 c 都是厚度均匀的平行玻璃板,a 和 b、b 和 c 之间的夹角都为 β,一细光束由红光和蓝光组成,以入射角 θ 从 O 点射入 a 板,且射出 c 板后的两束单色光射在地面上 P、Q 两点,由此可知________。



A.射出 c 板后的两束单色光与入射光平行

B.射到 P 点的光在玻璃中的折射率较大

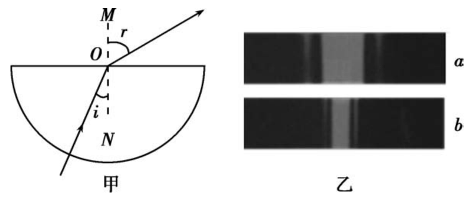
C.射到 P 点的光在玻璃中的传播速度较大,波长较长

D.若稍微增大入射角 θ,光从 b 板上表面射入到其下表面时,在该界面上有可能发生全反射

E.若射到 P、Q 两点的光分别通过同一双缝发生干涉现象,则射到 P 点的光形成干涉条纹的间距小,这束光为蓝光

答案　ABE　结合几何知识分析可知光线经过平行玻璃板后,出射光线和入射光线平行,则最终从 c 板射出的两束单色光与入射光平行,故 A 正确;射到 P 点的光偏折程度比射到 Q 点的光偏折程度大,则知射到 P 点的光在玻璃中的折射率较大,根据 $v=\dfrac{c}{n}$知,射到 P 点的光在玻璃中的传播速度较小,又折射率越大,频率越大,射到 P 点的光在玻璃中传播时的波长较小,故 B 正确,C 错误;光从 b 板上表面射入到其下表面时的入射角等于光在 b 板上表面的折射角,根据光路可逆性可知,光不可能在 b 板下表面上发生全反射,故 D 错误;根据 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$知,分别通过同一双缝发生干涉现象时,条纹间距较小的光波长小,则频率大,折射率大,则知射到 P 点的光为蓝光,故 E 正确。

3.(多选)如图甲,可以用来测定半圆柱形玻璃砖的折射率 n,O 是圆心,MN 是法线。一束单色光以入射角 $i=30°$经玻璃砖内部射向 O 点,折射角为 r,当入射角增大到也为 r 时,恰好无光线从玻璃砖的上表面射出。让该单色光分别通过宽度不同的单缝 a、b 后,得到图乙所示的衍射图样(光在真空中的传播速度为 c)。则下列说法正确的是　(　　)



甲　　乙

A.此光在玻璃砖中的全反射临界角为 60°

B.玻璃砖的折射率 $n=\sqrt{2}$

C.此光在玻璃砖中的传播速度 $v=\dfrac{\sqrt{2}}{2}c$

D.单缝 b 宽度较大

E.光的偏振现象说明光是一种纵波

答案　BCD　本题考查光的折射、全反射、光的波动性,体现了科学思维中科学论证要素。

根据折射定律有 $n=\dfrac{\sin r}{\sin i}$,玻璃砖的全反射临界角 $C=r$,根据 $\sin C=\dfrac{1}{n}$,结合 $i=30°$,解得 $n=\sqrt{2}$,$C=45°$,故 A 错误,B 正确;光在玻璃砖中的传播速度为 $v=\dfrac{c}{n}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}c$,故 C 正确;由乙图知,单色光通过单缝 a 后衍射现象比较显著,所以单缝 a 宽度较小,单缝 b 宽度较大,故 D 正确;偏振是横波的特有现象,光的偏振现象说明光是一种横波,故 E 错误。

4.[2019 山西晋城一模,16(1)](多选)下列说法正确的是　(　　)

A.光由空气进入水中,颜色不变,波长变短

B.电磁波必须依赖介质才能向远处传播

C.两列波在介质中叠加,不一定会产生稳定的干涉现象

D.介质折射率越大,光发生全反射时的临界角越大

E.介质对某单色光的临界角为 θ,此单色光在该介质中的波长是真空中波长的 $\sin\theta$ 倍

答案　ACE　波的频率由波源决定,光从空气进入水中时,频率 f 不变,波速 v 变小,由 $v=\lambda f$ 知,波长 λ 变小,选项 A 正确;电磁波的传播不需要介质,选项 B 错误;两列频率相等、相位差恒定的波叠加才会出现稳定的干涉现象,选项 C 正确;光

从光密介质射入光疏介质时，可发生全反射，由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 可知，折射率 n 越大，临界角 C 越小，选项 D 错误；在折射过程中光的频率不变，由 $n=\frac{\lambda_0 f}{\lambda f}$ 得 $\lambda=\frac{\lambda_0}{n}=\lambda_0\sin\theta$，选项 E 正确。

考点三　电磁波、相对论初步

1.（2019 吉林长春质检，15）（多选）以下说法中正确的是（　　）

A.在同一种玻璃中，频率越大的光的传播速度越小
B.用透明的标准样板和单色光检查平面的平整度是利用了光的偏振
C.麦克斯韦用实验证实了电磁波的存在
D.交警通过发射超声波测量车速是利用了波的多普勒效应
E.狭义相对论认为在不同的惯性参考系中，一切物理规律都是相同的

答案　ADE　光的频率越大，折射率越大，在同种介质中的速度越小，故 A 对；用透明的标准样板和单色光检查平面的平整度是利用了光的干涉，故 B 错；麦克斯韦预言了电磁波的存在，赫兹用实验证实了电磁波的存在，故 C 错；交警通过发射超声波测量车速是利用了波的多普勒效应，故 D 对；根据狭义相对论原理，在不同惯性系中，物理规律有相同的表达式，即一切物理规律都是相同的，故 E 对。故选 A、D、E。

温馨提示　①光在介质中的传播速度 $v=\frac{c}{n}$；②赫兹证实了电磁波的存在。

2.（2020 届四川四市诊测）（多选）关于电磁波，下列说法正确的是（　　）

A.电磁波在真空和介质中的传播速度相同
B.周期性变化的电场和磁场可以相互激发，形成电磁波
C.电磁波谱中的无线电波与可见光相比，更容易产生显著的衍射现象
D.电磁振荡可以产生电磁波，若波源的电磁振荡停止，其发射到空间的电磁波随即消失
E.发射电磁波是为了用它传递某种信号，载有信号的电磁波可以在真空中传输也可以通过光缆传输

答案　BCE　本题考查了电磁波传播，体现了物理观念中的能量要素。

电磁波在真空中的传播速度最大，在其他介质中的传播速度将变小，而且介质的折射率越大，速度越小，选项 A 错误；根据电磁波知识知，选项 B 正确；波长越长的电磁波，波动性越显著，干涉、衍射现象越容易发生，无线电波的波长大于可见光的波长，选项 C 正确；当发射电路的电磁振荡停止了，只是不能产生新的电磁波，但已发出的电磁波不会立即消失，还要继续传播一段时间，选项 D 错误；电磁波可以通过电缆、光缆进行有线传输，也可以实现无线传输，电磁波的频率越高，相同时间传递的信息量越大，光的频率比无线电波的频率高得多，因此光缆可以传递大量信息，选项 E 正确。

3.（2016 北京理综，14，6 分）下列说法正确的是（　　）

A.电磁波在真空中以光速 c 传播
B.在空气中传播的声波是横波
C.声波只能在空气中传播
D.光需要介质才能传播

答案　A　声波是机械波，是纵波，在气体、固体、液体中都能传播，故 B、C 两项均错误；电磁波的传播不需要介质，能在真空中以光速传播，A 项正确，D 项错误。

炼技法　提能力

方法技巧秘籍　实战技能集训

方法技巧

对应学生用书起始页码 209

方法　棱镜和光的色散

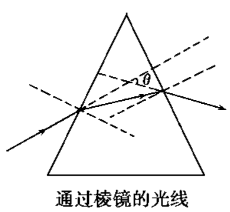
1.棱镜

(1)定义：各平面相交的透明体叫做棱镜。通常把横截面为三角形的棱镜叫做三棱镜。

(2)作用：①改变光的传播方向；②分光。

2.通过棱镜的光线

(1)棱镜对光线的偏折规律如图所示



通过棱镜的光线

①通过棱镜的光线要向棱镜底边方向偏折；

②棱镜改变光的传播方向，但不改变光束的性质。

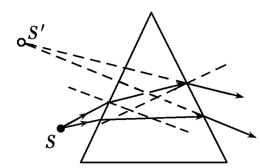
a.平行光束通过棱镜后仍为平行光束；

b.发散光束通过棱镜后仍为发散光束；

c.会聚光束通过棱镜后仍为会聚光束。

③出射光线和入射光线之间的夹角称为偏向角（如图中 θ）。

(2)棱镜成像（如图）



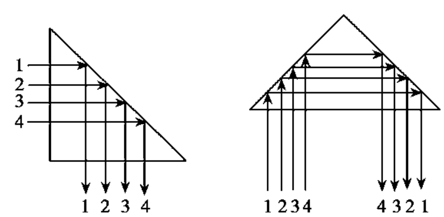
棱镜成正立虚像

隔着棱镜看物体的像是正立的虚像，像的位置向棱镜顶角方向偏移。

3.全反射棱镜

(1)定义：横截面为等腰直角三角形的棱镜叫全反射棱镜。

(2)全反射棱镜对光路的控制如图所示：



改变 90° 的情况　改变 180° 的情况

棱镜对光路的控制

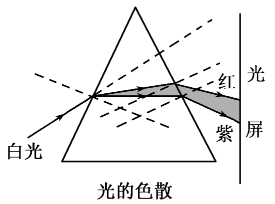
(3)全反射棱镜的优点:

全反射棱镜和平面镜在改变光路方面,效果是相同的,相比之下,全反射棱镜成像更清晰,光能损失更少。

4.光的色散

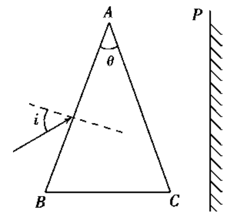
把复色光分解为单色光的现象叫做光的色散。

白光通过棱镜后,被分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色(如图)。



光的色散

例 一束白光从顶角为 θ 的一边以较大的入射角 i 射入并通过三棱镜后,在屏 P 上可得到彩色光带,如图所示,在入射角 i 逐渐减小到零的过程中,假如屏上的彩色光带先后全部消失,则 ( )



A.红光最先消失,紫光最后消失

B.紫光最先消失,红光最后消失

C.紫光最先消失,黄光最后消失

D.红光最先消失,黄光最后消失

解题导引 白光通过三棱镜以后,所有的光均偏离顶角,偏向底边,且紫光的偏角最大,所以随着 i 的减小,紫光最先消失,红光最后消失。

解析 白光从 AB 面射入玻璃后,由于紫光偏折大,从而到达另一侧面 AC 时的入射角较大,且因紫光折射率大,$\sin C=1/n$,因而其全反射的临界角最小,故随着入射角 i 的减小,进入玻璃后的各色光中紫光首先发生全反射不从 AC 面射出,随后依次是蓝、青、绿、黄、橙、红,逐渐发生全反射而不从 AC 面射出。

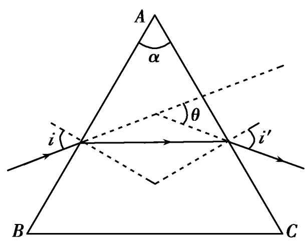
答案 B

方法集训

对应学生用书起始页码 210

方法 棱镜和光的色散

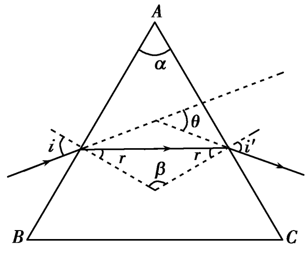
1.(2015 安徽理综,18,6分)如图所示,一束单色光从空气入射到棱镜的 AB 面上,经 AB 和 AC 两个面折射后从 AC 面进入空气。当出射角 i' 和入射角 i 相等时,出射光线相对于入射光线偏转的角度为 θ。已知棱镜顶角为 α,则计算棱镜对该色光的折射率表达式为 ( )



A.$\dfrac{\sin\frac{\alpha+\theta}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}$ B.$\dfrac{\sin\frac{\alpha+\theta}{2}}{\sin\frac{\theta}{2}}$

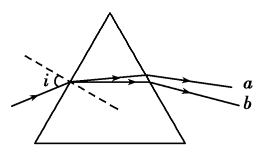
C.$\dfrac{\sin\theta}{\sin\left(\theta-\frac{\alpha}{2}\right)}$ D.$\dfrac{\sin\alpha}{\sin\left(\alpha-\frac{\theta}{2}\right)}$

答案 A 由图可知,当出射角与入射角相等时,AB 面上的折射角与 AC 面上的入射角相等,设为 r,



由几何关系可知 $\alpha+\beta=180°$,$2r+\beta=180°$,得 $\alpha=2r$,而 $\theta=2(i-r)$,得 $i=\dfrac{\theta+\alpha}{2}$,由折射定律得 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\sin\frac{\theta+\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}$,选项 A 正确。

2.(2017 天津理综,2,6分)明代学者方以智在《阳燧倒影》中记载:"凡宝石面凸,则光成一条,有数棱则必有一面五色",表明白光通过多棱晶体折射会发生色散现象。如图所示,一束复色光通过三棱镜后分解成两束单色光 a、b,下列说法正确的是 ( )



A.若增大入射角 i,则 b 光先消失

B.在该三棱镜中 a 光波长小于 b 光

C.a 光能发生偏振现象,b 光不能发生

D.若 a、b 光分别照射同一光电管都能发生光电效应,则 a 光的遏止电压低

答案 D 本题考查色散、全反射、偏振、光电效应。当增大入射角 i 时,两单色光在左侧界面的折射角增大,但在右侧界面的入射角均减小,故不会发生全反射,A 错误。由图知三棱镜对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率,而同种介质对频率越大的光折射率越大,故 $\nu_a<\nu_b$,光在三棱镜中的波长 $\lambda=\dfrac{v}{\nu}=\dfrac{c}{n\nu}$,$n_a<n_b$,则 $\lambda_a>\lambda_b$,B 错误。偏振是横波所特有的现象,故 a、b 两光都能发生偏振,C 错误。由 $eU_c=E_k=h\nu-W$ 可知,在照射同一光电管即 W 相同的条件下,a 光波长长、频率低,故 a 光的遏止电压 U_c 也低,D 正确。

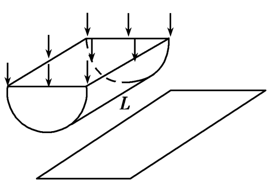
知识归纳 单色光的相关物理量(其他条件相同)

	红 橙 黄 绿 青 蓝 紫	相关公式
波长	减小 →	$\lambda=\dfrac{c}{\nu}$
频率	增大 →	
光子能量	增大 →	$E=h\nu$

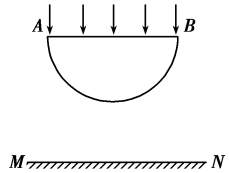
续表

	红 橙 黄 绿 青 蓝 紫	相关公式
折射率	增大 →	$n \cdot \sin C=1$
临界角	减小 →	
视深	（从空气垂直观察）减小 →	$h'=h/n$
最大初动能	增大 →	$E_k=h\nu-W$
干涉条纹宽度	减小 →	$\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$

3.如图甲所示，一透明半圆柱体玻璃砖折射率 $n=2$，半径为 R，长为 L。横截面如图乙所示。一束平行光从半圆柱体的矩形表面垂直射入，从玻璃砖直接折射出的光线在其下方的水平光屏 MN 上形成一个长为 L，宽为 $2R$ 的矩形光斑。求光屏 MN 距离玻璃砖直径 AB 的距离。



甲



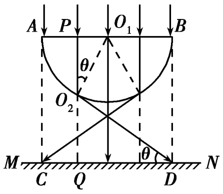
乙

答案　$\sqrt{3}R$

解析　由于光线关于半圆柱体玻璃砖对称，光线离玻璃砖的中心轴线越远，光线在曲面上折射时的入射角越大，越可能发生全反射。现考虑光线在曲面上恰发生全反射时的情况，此时光线的入射角为 θ，则：

$$\sin\theta=\frac{1}{n}$$

基于对称性，作出光路的临界光线如图所示，在半圆柱体玻璃砖内，根据几何关系有：



$O_1P=R\sin\theta$

$O_2P=R\cos\theta$

而 $QD=2R-(R-O_1P)$

$O_2Q=QD\cdot\tan\theta$

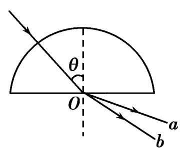
光屏 MN 距离半圆柱体玻璃砖直径 AB 的距离为 $h=O_2P+O_2Q$

联立解得 $h=\sqrt{3}R$

2015-2019 5年高考　对应学生用书 起始页码 292

A 组　基础题组

1.[2015 课标Ⅱ,34(1),5 分]（多选）如图，一束光沿半径方向射向一块半圆柱形玻璃砖，在玻璃砖底面上的入射角为 θ，经折射后射出 a、b 两束光线。则　（　　）



A.在玻璃中，a 光的传播速度小于 b 光的传播速度

B.在真空中，a 光的波长小于 b 光的波长

C.玻璃砖对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率

D.若改变光束的入射方向使 θ 角逐渐变大，则折射光线 a 首先消失

E.分别用 a、b 光在同一个双缝干涉实验装置上做实验，a 光的干涉条纹间距大于 b 光的干涉条纹间距

答案　ABD　从光路图看，入射角相同，a 光的折射角较大，所以玻璃砖对 a 光的折射率较大，a 光的频率较大，波长较短，B 正确，C 不正确；根据 $n=\dfrac{c}{v}$ 知 $v_a<v_b$，A 正确；随着入射角增大，a 光的折射角先达到 90°，D 正确；在同一个双缝干涉实验装置上做实验，由 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$ 知光的波长越长，干涉条纹间距越大，E 错误。

思路点拨　①光线由玻璃射向空气中发生折射，是由光密介质到光疏介质，则在入射角相同的情况下，折射角越大，折射率 n 越大，频率越高，又因为 $c=f\lambda$，则波长越小。②$n=\dfrac{\sin i}{\sin\theta}$，$n$ 不变，i 随 θ 增大而增大，a 光首先消失。③据 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$ 判断干涉条纹间距。

2.[2017 课标Ⅱ,34(1),5 分]（多选）在双缝干涉实验中，用绿色激光照射在双缝上，在缝后的屏幕上显示出干涉图样。若要增大干涉图样中两相邻亮条纹的间距，可选用的方法是　（　　）

A.改用红色激光

B.改用蓝色激光

C.减小双缝间距

D.将屏幕向远离双缝的位置移动

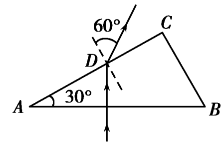
E.将光源向远离双缝的位置移动

答案　ACD　本题考查双缝干涉，考查学生的理解能力。

由相邻两亮条纹间距 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$ 可知，若要增大两相邻亮条纹的间距，应增大双缝与光屏间距离 L、减小双缝间距 d 或增大照射光波长 λ，而 $\lambda_{红}>\lambda_{绿}>\lambda_{蓝}$，故选项 A、C、D 正确。

解题关键　熟记双缝干涉中相邻亮条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$ 及各色光的波长大小关系。

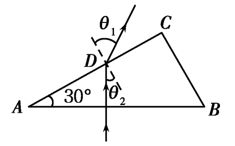
3.[2018 课标Ⅰ,34(1),5 分]如图，△ABC 为一玻璃三棱镜的横截面，$\angle A=30°$。一束红光垂直 AB 边射入，从 AC 边上的 D 点射出，其折射角为 60°，则玻璃对红光的折射率为________。若改用蓝光沿同一路径入射，则光线在 D 点射出时的折射角________（填“小于”“等于”或“大于”）60°。



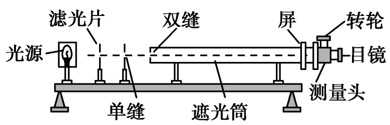
答案　$\sqrt{3}$　大于

解析　本题考查折射定律在三棱镜中的应用等知识。

由题意知,$\theta_1=60°$,由几何关系知 $\theta_2=30°$,由 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$,得 $n=\sqrt{3}$。由 $f_{蓝}>f_{红}$ 得 $n_{蓝}>n_{红}$,又因 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$,$\theta_2$ 相同,故 $\theta_{1蓝}>\theta_{1红}$,蓝光在 D 点射出时的折射角大于 60°。



4.[2019 课标Ⅱ,34(2),10 分]某同学利用图示装置测量某种单色光的波长。实验时,接通电源使光源正常发光;调整光路,使得从目镜中可以观察到干涉条纹。回答下列问题:



(ⅰ)若想增加从目镜中观察到的条纹个数,该同学可________;

A.将单缝向双缝靠近

B.将屏向靠近双缝的方向移动

C.将屏向远离双缝的方向移动

D.使用间距更小的双缝

(ⅱ)若双缝的间距为 d,屏与双缝间的距离为 l,测得第 1 条暗条纹到第 n 条暗条纹之间的距离为 Δx,则单色光的波长 $\lambda=$________;

(ⅲ)某次测量时,选用的双缝的间距为 0.300 mm,测得屏与双缝间的距离为 1.20 m,第 1 条暗条纹到第 4 条暗条纹之间的距离为 7.56 mm。则所测单色光的波长为________nm(结果保留 3 位有效数字)。

答案 (ⅰ)B (ⅱ)$\dfrac{\Delta x\cdot d}{(n-1)l}$ (ⅲ)630

解析 本题是"利用双缝干涉测光的波长"实验。考查了学生的实验能力,培养了学生实事求是的科学态度,建立了结果来源于实验的价值观。

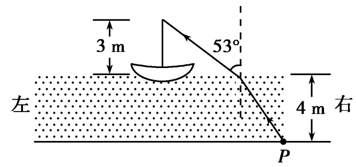
(ⅰ)增加目镜中观察到的条纹个数必须要减小条纹间距,由公式 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$ 可知 B 正确。

(ⅱ)由于第 1 条暗条纹到第 n 条暗条纹之间的距离为 Δx,则相邻两条暗条纹的中心间距 $\Delta x'=\dfrac{\Delta x}{n-1}$,单色光的波长 $\lambda=\dfrac{\Delta x'd}{l}=\dfrac{\Delta x\cdot d}{(n-1)l}$。

(ⅲ)$\lambda=\dfrac{\Delta x\cdot d}{(n-1)l}=\dfrac{7.56\times10^{-3}\times0.300\times10^{-3}}{(4-1)\times1.20}$ m $=6.30\times10^{-7}$ m $=630$ nm。

易错警示 ①第 1 条暗条纹到第 n 条暗条纹之间的距离为相邻两条暗条纹中心间距的 $n-1$ 倍。②注意单位换算,1 nm $=10^{-9}$ m。

5.[2019 课标Ⅰ,34(2),10 分]如图,一艘帆船静止在湖面上,帆船的竖直桅杆顶端高出水面 3 m。距水面 4 m 的湖底 P 点发出的激光束,从水面出射后恰好照射到桅杆顶端,该出射光束与竖直方向的夹角为 53°(取 sin 53° = 0.8)。已知水的折射率为 $\dfrac{4}{3}$。



(ⅰ)求桅杆到 P 点的水平距离;

(ⅱ)船向左行驶一段距离后停止,调整由 P 点发出的激光束方向,当其与竖直方向夹角为 45°时,从水面射出后仍照射在桅杆顶端,求船行驶的距离。

答案 (ⅰ)7 m (ⅱ)5.5 m

解析 (ⅰ)设光束从水面射出的点到桅杆的水平距离为 x_1,到 P 点的水平距离为 x_2;桅杆高度为 h_1,P 点处水深为 h_2;激光束在水中与竖直方向的夹角为 θ。由几何关系有

$\dfrac{x_1}{h_1}=\tan 53°$ ①

$\dfrac{x_2}{h_2}=\tan\theta$ ②

由折射定律有

$\sin 53°=n\sin\theta$ ③

设桅杆到 P 点的水平距离为 x,则

$x=x_1+x_2$ ④

联立①②③④式并代入题给数据得

$x=7$ m ⑤

(ⅱ)设激光束在水中与竖直方向的夹角为 45°时,从水面出射的方向与竖直方向夹角为 i',由折射定律有

$\sin i'=n\sin 45°$ ⑥

设船向左行驶的距离为 x',此时光束从水面射出的点到桅杆的水平距离为 x_1',到 P 点的水平距离为 x_2',则

$x_1'+x_2'=x'+x$ ⑦

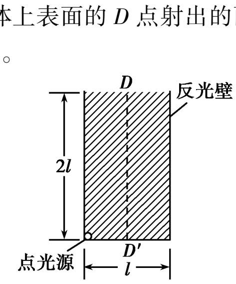
$\dfrac{x_1'}{h_1}=\tan i'$ ⑧

$\dfrac{x_2'}{h_2}=\tan 45°$ ⑨

联立⑤⑥⑦⑧⑨式并代入题给数据得

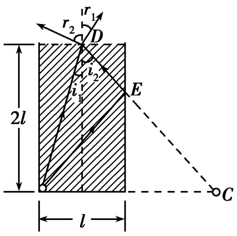
$x'=(6\sqrt{2}-3)$ m ≈5.5 m ⑩

6.[2017 课标Ⅱ,34(2),10 分]一直桶状容器的高为 $2l$,底面是边长为 l 的正方形;容器内装满某种透明液体,过容器中心轴 DD'、垂直于左右两侧面的剖面图如图所示。容器右侧内壁涂有反光材料,其他内壁涂有吸光材料。在剖面的左下角处有一点光源,已知由液体上表面的 D 点射出的两束光线相互垂直,求该液体的折射率。



答案 1.55

解析 设从光源发出直接射到 D 点的光线的入射角为 i_1,折射角为 r_1。在剖面内作光源相对于反光壁的镜像对称点 C,连接 C、D,交反光壁于 E 点,由光源射向 E 点的光线,反射后沿 ED 射向 D 点。光线在 D 点的入射角为 i_2,折射角为 r_2,如图所示。设液体的折射率为 n,由折射定律有



$n\sin i_1=\sin r_1$ ①

$n\sin i_2=\sin r_2$ ②

由题意知 $r_1+r_2=90°$ ③

联立①②③式得 $n^2=\dfrac{1}{\sin^2 i_1+\sin^2 i_2}$ ④

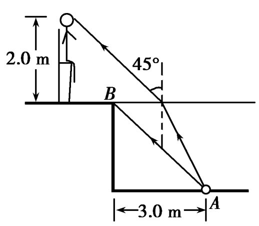
由几何关系可知 $\sin i_1=\dfrac{\frac{l}{2}}{\sqrt{4l^2+\frac{l^2}{4}}}=\dfrac{1}{\sqrt{17}}$ ⑤

$\sin i_2=\dfrac{\frac{3}{2}l}{\sqrt{4l^2+\frac{9l^2}{4}}}=\dfrac{3}{5}$ ⑥

联立④⑤⑥式得 $n=1.55$ ⑦

解题关键　正确画出光路图，由数学知识找出相关角的关系。

7.**[2016 课标Ⅰ,34(2),10 分]** 如图，在注满水的游泳池的池底有一点光源 A，它到池边的水平距离为 3.0 m。从点光源 A 射向池边的光线 AB 与竖直方向的夹角恰好等于全反射的临界角，水的折射率为 $\frac{4}{3}$。

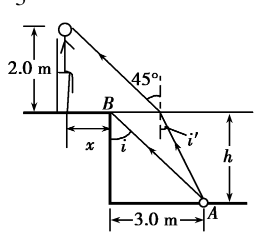


(ⅰ)求池内的水深；

(ⅱ)一救生员坐在离池边不远处的高凳上，他的眼睛到池面的高度为 2.0 m。当他看到正前下方的点光源 A 时，他的眼睛所接受的光线与竖直方向的夹角恰好为 45°。求救生员的眼睛到池边的水平距离(结果保留 1 位有效数字)。

答案　(ⅰ)2.6 m　(ⅱ)0.7 m

解析　(ⅰ)如图，设到达池边的光线的入射角为 i。依题意，水的折射率 $n=\frac{4}{3}$，光线的折射角 $\theta=90°$。由折射定律有



$n\sin i=\sin\theta$ ①

由几何关系有

$\sin i=\dfrac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}$ ②

式中，$l=3$ m，h 是池内水的深度。联立①②式并代入题给数据得

$h=\sqrt{7}$ m≈2.6 m ③

(ⅱ)设此时救生员的眼睛到池边的水平距离为 x。依题意，救生员的视线与竖直方向的夹角为 $\theta'=45°$。由折射定律有

$n\sin i'=\sin\theta'$ ④

式中，i' 是光线在水面的入射角。设池底点光源 A 到水面入射点的水平距离为 a。由几何关系有

$\sin i'=\dfrac{a}{\sqrt{a^2+h^2}}$ ⑤

$x+l=a+h'$ ⑥

式中 $h'=2$ m。联立③④⑤⑥式得

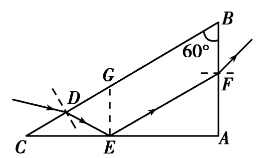
$x=\left(3\sqrt{\dfrac{7}{23}}-1\right)$ m≈0.7 m ⑦

解题关键　几何光学一定要注意几何关系的应用，关键是要根据题意，画出正确的光路图，根据光路图找出需要的各种几何关系，比如本题中的 $\sin i=\dfrac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}$、$\sin i'=\dfrac{a}{\sqrt{a^2+h^2}}$、$x+l=a+h'$ 等。

8.**[2018 课标Ⅱ,34(2),10 分]** 如图，△ABC 是一直角三棱镜的横截面，∠$A=90°$，∠$B=60°$。一细光束从 BC 边的 D 点折射后，射到 AC 边的 E 点，发生全反射后经 AB 边的 F 点射出。EG 垂直于 AC 交 BC 于 G，D 恰好是 CG 的中点。不计多次反射。

(ⅰ)求出射光相对于 D 点的入射光的偏角；

(ⅱ)为实现上述光路，棱镜折射率的取值应在什么范围？



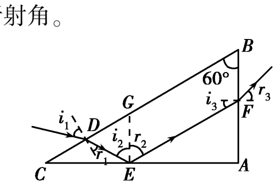
答案　(ⅰ)60°　(ⅱ)$\frac{2\sqrt{3}}{3}\leqslant n<2$

解析　本题考查光的折射和全反射、折射率。

(ⅰ)光线在 BC 边上折射，由折射定律有

$\sin i_1=n\sin r_1$ ①

式中，n 为棱镜的折射率，i_1 和 r_1 分别是该光线在 BC 边上的入射角和折射角。



光线在 AC 边上发生全反射，由反射定律有

$r_2=i_2$ ②

式中 i_2 和 r_2 分别是该光线在 AC 边上的入射角和反射角。

光线在 AB 边上发生折射，由折射定律有

$n\sin i_3=\sin r_3$ ③

式中 i_3 和 r_3 分别是该光线在 AB 边上的入射角和折射角。

由几何关系得

$i_2=r_2=60°$，$r_1=i_3=30°$ ④

F 点的出射光相对于 D 点的入射光的偏角为

$\delta=(r_1-i_1)+(180°-i_2-r_2)+(r_3-i_3)$ ⑤

由①②③④⑤式得

$\delta=60°$ ⑥

(ⅱ)光线在 AC 边上发生全反射，光线在 AB 边上不发生全反射，有

$n\sin i_2 \geqslant n\sin C > n\sin i_3$ ⑦

式中 C 是全反射临界角,满足

$n\sin C=1$ ⑧

由④⑦⑧式知,棱镜的折射率 n 的取值范围应为

$\frac{2\sqrt{3}}{3} \leqslant n < 2$ ⑨

解题关键 画图是解决物理问题的基本功

对于几何光学题,画好光路图是解题的关键。充分利用几何知识便可顺利解题。

B组 提升题组

1.[2016课标Ⅱ,34(1),5分](多选)关于电磁波,下列说法正确的是 ( )

A.电磁波在真空中的传播速度与电磁波的频率无关

B.周期性变化的电场和磁场可以相互激发,形成电磁波

C.电磁波在真空中自由传播时,其传播方向与电场强度、磁感应强度均垂直

D.利用电磁波传递信号可以实现无线通信,但电磁波不能通过电缆、光缆传输

E.电磁波可以由电磁振荡产生,若波源的电磁振荡停止,空间的电磁波随即消失

答案 ABC 电磁波在真空中的传播速度为 3×10^8 m/s,与频率无关,选项A正确;由麦克斯韦电磁场理论可知,选项B正确;变化的电场和磁场相互激发,且相互垂直,形成的电磁波的传播方向与电场和磁场均垂直,选项C正确;电磁波可以通过电缆、光缆传输,选项D错误;电磁振荡停止后,电磁波可以在空间继续传播,直到能量消耗完为止,选项E错误。

易错点拨 易错选E,认为波源停止振荡,波随即消失。

评析 本题考查电磁波的产生与传播的相关知识,试题难度不大,考查学生的识记能力。

2.[2015课标Ⅰ,34(1),5分]在双缝干涉实验中,分别用红色和绿色的激光照射同一双缝,在双缝后的屏幕上,红光的干涉条纹间距 Δx_1 与绿光的干涉条纹间距 Δx_2 相比,Δx_1________ Δx_2(填"$>$"、"$=$"或"$<$")。若实验中红光的波长为630 nm,双缝与屏幕的距离为1.00 m,测得第1条到第6条亮条纹中心间的距离为10.5 mm,则双缝之间的距离为________mm。

答案 $>$ 0.300

解析 根据公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$,红光波长大于绿光波长,因此 $\Delta x_1>\Delta x_2$。根据题意,相邻亮条纹间距 $\Delta x=\frac{10.5}{6-1}$ mm $=2.1$ mm,所以 $d=\frac{l\lambda}{\Delta x}=3.00\times10^{-4}$ m $=0.300$ mm。

3.[2019天津理综,9(2)]某小组做测定玻璃的折射率实验,所用器材有:玻璃砖,大头针,刻度尺,圆规,笔,白纸。

①下列哪些措施能够提高实验准确程度________。

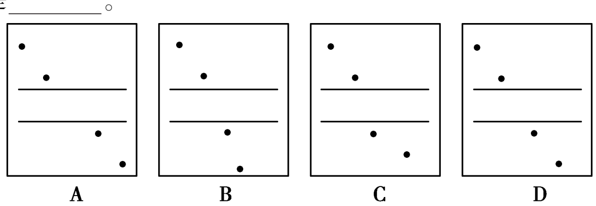
A.选用两光学表面间距大的玻璃砖

B.选用两光学表面平行的玻璃砖

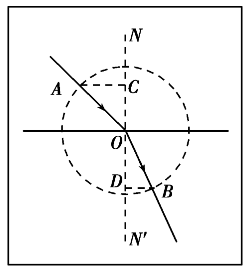
C.选用粗的大头针完成实验

D.插在玻璃砖同侧的两枚大头针间的距离尽量大些

②该小组用同一套器材完成了四次实验,记录的玻璃砖界线和四枚大头针扎下的孔洞如下图所示,其中实验操作正确的是________。



③该小组选取了操作正确的实验记录,在白纸上画出光线的径迹,以入射点 O 为圆心作圆,与入射光线、折射光线分别交于 A、B 点,再过 A、B 点作法线 NN' 的垂线,垂足分别为 C、D 点,如图所示,则玻璃的折射率 $n=$________。(用图中线段的字母表示)



答案 ①AD ②D ③$\frac{AC}{BD}$

解析 本实验考查光学中测定玻璃折射率的操作方法、误差分析、数据处理,培养考生的实验能力,体现实验探究中证据、解释的素养要素。

①所用玻璃砖两表面是否平行,与提高实验精确度无关,故B错。选用细的大头针有利于提高精确度,故C错。所用玻璃砖两表面及插在玻璃砖同侧的两枚大头针的间距尽量大些,可以减小测量的相对误差,故A、D均正确。

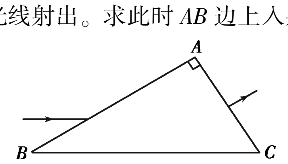
②利用平行玻璃砖做本实验时,入射光线进入玻璃砖后折射光线靠近法线,而穿出玻璃砖的光线与入射光线平行,故根据孔洞作出的两条光线应平行且下面的光线应向左错开一小段距离。故A、B、C错误,D正确。

③由折射率的定义式可知,$n=\frac{\sin\angle AOC}{\sin\angle BOD}=\frac{\frac{AC}{AO}}{\frac{BD}{BO}}=\frac{AC}{BD}$。

4.[2019课标Ⅲ,34(2),10分]如图,直角三角形 ABC 为一棱镜的横截面,$\angle A=90°$,$\angle B=30°$。一束光线平行于底边 BC 射到 AB 边上并进入棱镜,然后垂直于 AC 边射出。

(ⅰ)求棱镜的折射率;

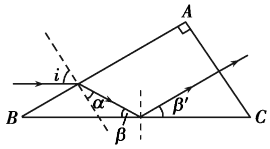
(ⅱ)保持 AB 边上的入射点不变,逐渐减小入射角,直到 BC 边上恰好有光线射出。求此时 AB 边上入射角的正弦。



答案 (ⅰ)$\sqrt{3}$ (ⅱ)$\frac{\sqrt{3}-\sqrt{2}}{2}$

解析 本题考查了光的折射、全反射,突出应用数学知识处理物理问题的能力,体现了核心素养中模型建构、科学论证要素,有利于培养考生的应用与创新价值观。

(ⅰ)光路图及相关量如图所示。



光束在 AB 边上折射，由折射定律得

$$\frac{\sin i}{\sin \alpha}=n \qquad ①$$

式中 n 是棱镜的折射率。由几何关系可知

$$\alpha+\beta=60° \qquad ②$$

由几何关系和反射定律得

$$\beta=\beta'=\angle B \qquad ③$$

联立①②③式，并代入 $i=60°$ 得

$$n=\sqrt{3} \qquad ④$$

（ⅱ）设改变后的入射角为 i'，折射角为 α'，由折射定律得

$$\frac{\sin i'}{\sin \alpha'}=n \qquad ⑤$$

依题意，光束在 BC 边上的入射角为全反射的临界角 θ_c，且

$$\sin \theta_c=\frac{1}{n} \qquad ⑥$$

由几何关系得

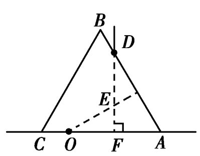
$$\theta_c=\alpha'+30° \qquad ⑦$$

由④⑤⑥⑦式得入射角的正弦为

$$\sin i'=\frac{\sqrt{3}-\sqrt{2}}{2} \qquad ⑧$$

解题关键　(1)准确作出光路图，由三角形外角和公式及内角和公式，计算出对应的角度值，进一步求出折射率。(2)结合折射定律、角度关系及三角函数关系求出入射角的正弦。

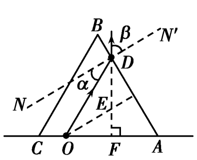
5.［2018 课标Ⅲ，34(2)，10 分］如图，某同学在一张水平放置的白纸上画了一个小标记“·”（图中 O 点），然后用横截面为等边三角形 ABC 的三棱镜压在这个标记上，小标记位于 AC 边上。D 位于 AB 边上，过 D 点做 AC 边的垂线交 AC 于 F。该同学在 D 点正上方向下顺着直线 DF 的方向观察，恰好可以看到小标记的像；过 O 点做 AB 边的垂线交直线 DF 于 E；$DE=2$ cm，$EF=1$ cm。求三棱镜的折射率。（不考虑光线在三棱镜中的反射）



答案　$\sqrt{3}$

解析　本题考查折射定律。

过 D 点作 AB 边的法线 NN'，连接 OD，则 $\angle ODN=\alpha$ 为 O 点发出的光线在 D 点的入射角；设该光线在 D 点的折射角为 β，如图所示。



根据折射定律有

$$n\sin \alpha=\sin \beta \qquad ①$$

式中 n 为三棱镜的折射率。

由几何关系可知

$$\beta=60° \qquad ②$$

$$\angle EOF=30° \qquad ③$$

$\triangle OEF$ 中有

$$EF=OE\sin\angle EOF \qquad ④$$

由③④式和题给条件得

$$OE=2\text{ cm} \qquad ⑤$$

根据题给条件可知，$\triangle OED$ 为等腰三角形，有

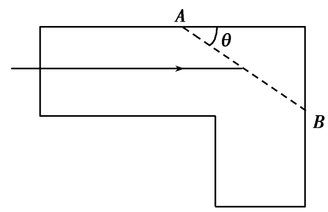
$$\alpha=30°$$

由①②⑥式得 ⑥

$$n=\sqrt{3} \qquad ⑦$$

解题关键　解答本题的关键是根据题设条件，画出光路图，利用图中几何关系，列方程求解。

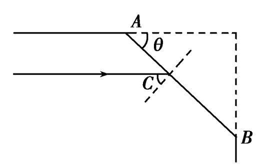
6.［2019 江苏单科，13B(3)］如图所示，某 L 形透明材料的折射率 $n=2$。现沿 AB 方向切去一角，AB 与水平方向的夹角为 θ。为使水平方向的光线射到 AB 面时不会射入空气，求 θ 的最大值。



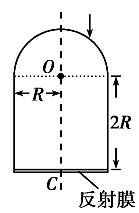
答案　60°

解析　本题考查了光的折射和全反射等知识及学生综合分析能力，体现了科学探究中问题和证据的素养要素。

为使光射到 AB 面时不射入空气，故光在 AB 面发生全反射，由 $\sin C=\frac{1}{n}$，且 $C+\theta=90°$，得 $\theta=60°$

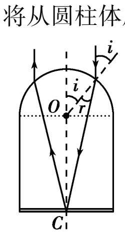


7.［2017 课标Ⅰ，34(2)，10 分］如图，一玻璃工件的上半部是半径为 R 的半球体，O 点为球心；下半部是半径为 R、高为 $2R$ 的圆柱体，圆柱体底面镀有反射膜。有一平行于中心轴 OC 的光线从半球面射入，该光线与 OC 之间的距离为 $0.6R$。已知最后从半球面射出的光线恰好与入射光线平行（不考虑多次反射）。求该玻璃的折射率。



答案　1.43

解析　如图，根据光路的对称性和光路可逆性，与入射光线相对于 OC 轴对称的出射光线一定与入射光线平行。这样，从半球面射入的折射光线，将从圆柱体底面中心 C 点反射。



设光线在半球面的入射角为 i，折射角为 r。由折射定律有

$$\sin i=n\sin r \qquad ①$$

由正弦定理有

$$\frac{\sin r}{2R}=\frac{\sin(i-r)}{R} \quad ②$$

由几何关系,入射点的法线与 OC 的夹角为 i。由题设条件和几何关系有

$$\sin i=\frac{L}{R} \quad ③$$

式中 L 是入射光线与 OC 的距离。由②③式和题给数据得

$$\sin r=\frac{6}{\sqrt{205}} \quad ④$$

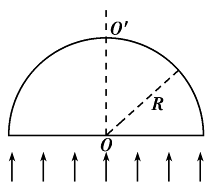
由①③④式和题给数据得

$$n=\sqrt{2.05}\approx 1.43 \quad ⑤$$

8.[2017 课标Ⅲ,34(2),10 分]如图,一半径为 R 的玻璃半球,O 点是半球的球心,虚线 OO' 表示光轴(过球心 O 与半球底面垂直的直线)。已知玻璃的折射率为 1.5。现有一束平行光垂直入射到半球的底面上,有些光线能从球面射出(不考虑被半球的内表面反射后的光线)。求

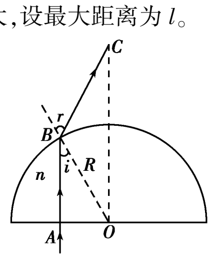
(ⅰ)从球面射出的光线对应的入射光线到光轴距离的最大值;

(ⅱ)距光轴 $\frac{R}{3}$ 的入射光线经球面折射后与光轴的交点到 O 点的距离。



答案 (ⅰ)$\frac{2}{3}R$ (ⅱ)$\frac{3(2\sqrt{2}+\sqrt{3})}{5}R$(或 $2.74R$)

解析 (ⅰ)如图,从底面上 A 处射入的光线,在球面上发生折射时的入射角为 i,当 i 等于全反射临界角 i_C 时,对应入射光线到光轴的距离最大,设最大距离为 l。



$$i=i_C \quad ①$$

设 n 是玻璃的折射率,由全反射临界角的定义有

$$n\sin i_C=1 \quad ②$$

由几何关系有

$$\sin i=\frac{l}{R} \quad ③$$

联立①②③式并利用题给条件,得

$$l=\frac{2}{3}R \quad ④$$

(ⅱ)设与光轴相距 $\frac{R}{3}$ 的光线在球面 B 点发生折射时的入射角和折射角分别为 i_1 和 r_1,由折射定律有

$$n\sin i_1=\sin r_1 \quad ⑤$$

设折射光线与光轴的交点为 C,在 $\triangle OBC$ 中,由正弦定理有

$$\frac{\sin\angle C}{R}=\frac{\sin(180°-r_1)}{OC} \quad ⑥$$

由几何关系有

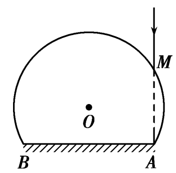
$$\angle C=r_1-i_1 \quad ⑦$$

$$\sin i_1=\frac{1}{3} \quad ⑧$$

联立⑤⑥⑦⑧式及题给条件得

$$OC=\frac{3(2\sqrt{2}+\sqrt{3})}{5}R\approx 2.74R \quad ⑨$$

9.[2016 课标Ⅲ,34(2),10 分]如图,玻璃球冠的折射率为 $\sqrt{3}$,其底面镀银,底面的半径是球半径的 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 倍;在过球心 O 且垂直于底面的平面(纸面)内,有一与底面垂直的光线射到玻璃球冠上的 M 点,该光线的延长线恰好过底面边缘上的 A 点。求该光线从球面射出的方向相对于其初始入射方向的偏角。



答案 150°

解析 设球半径为 R,球冠底面中心为 O',连接 OO',则 $OO'\perp AB$。令 $\angle OAO'=\alpha$,有

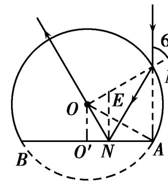
$$\cos\alpha=\frac{O'A}{OA}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}R}{R} \quad ①$$

即 $\alpha=30°$ ②

由题意 $MA\perp AB$

所以 $\angle OAM=60°$ ③

设图中 N 点为光线在球冠内底面上的反射点,所考虑的光线的光路图如图所示。设光线在 M 点的入射角为 i、折射角为 r,在 N 点的入射角为 i',反射角为 i'',玻璃折射率为 n。由于 $\triangle OAM$ 为等边三角形,有



$i=60°$ ④

由折射定律有 $\sin i=n\sin r$ ⑤

代入题给条件 $n=\sqrt{3}$ 得 $r=30°$ ⑥

作底面在 N 点的法线 NE,由于 $NE/\!/AM$,有 $i'=30°$ ⑦

根据反射定律,有 $i''=30°$ ⑧

连接 ON,由几何关系知 $\triangle MAN\cong\triangle MON$,故有 $\angle MNO=60°$ ⑨

由⑦⑨式得 $\angle ENO=30°$ ⑩

于是 $\angle ENO$ 为反射角,NO 为反射光线。这一反射光线经球面再次折射后不改变方向。所以,经一次反射后射出玻璃球冠的光线相对于入射光线的偏角 β 为

$\beta=180°-\angle ENO=150°$ ⑪

方法技巧 (1)因底面的半径 $R_{底}=\frac{\sqrt{3}}{2}R$,所以 $\angle OAB=30°$,$\angle OAM=60°$,而 $OM=OA=R$,所以 $\triangle OAM$ 为等边三角形,且在 M 点的入射角 $i=\angle OMA$。

(2)从 AB 面反射的光线经过圆心 O,故该反射光线会垂直球面射出球冠。

C 组　教师专用题组

1.(2019 北京理综,14,6 分) 利用图 1 所示的装置(示意图),观察光的干涉、衍射现象,在光屏上得到如图 2 中甲和乙两种图样。下列关于 P 处放置的光学元件说法正确的是　(　　)

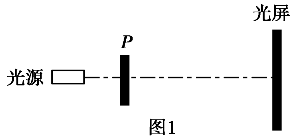


图1



图 2

A.甲对应单缝,乙对应双缝
B.甲对应双缝,乙对应单缝
C.都是单缝,甲对应的缝宽较大
D.都是双缝,甲对应的双缝间距较大

答案　A　本题考查光的干涉和衍射现象,体现了科学推理的素养。

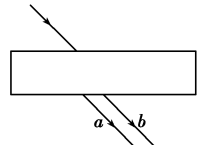
单缝衍射图样中心亮纹较宽,两侧亮纹宽度逐渐变窄,故甲图样为单缝衍射图样;双缝干涉图样相邻两条亮纹的宽度相同,对应乙图样。故 A 正确,B、C、D 均错。

2.(2019 浙江 4 月选考,14,2 分)(多选)波长为 λ_1 和 λ_2 的两束可见光入射到双缝,在光屏上观察到干涉条纹,其中波长为 λ_1 的光的条纹间距大于波长为 λ_2 的条纹间距。则(下列表述中,脚标"1"和"2"分别代表波长为 λ_1 和 λ_2 的光所对应的物理量)　(　　)

A.这两束光的光子的动量 $p_1>p_2$
B.这两束光从玻璃射向真空时,其临界角 $C_1>C_2$
C.这两束光都能使某种金属发生光电效应,则遏止电压 $U_1>U_2$
D.这两束光由氢原子从不同激发态跃迁到 $n=2$ 能级时产生,则相应激发态的电离能 $\Delta E_1>\Delta E_2$

答案　BD　根据双峰干涉的条纹间距的表达式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可知 $\lambda_1>\lambda_2$,由 $P=\frac{h}{\lambda}$ 可知 $p_1<p_2$,选项 A 错误;光 1 的折射率 n_1 小于光 2 的折射率 n_2,则根据 $\sin C=1/n$ 可知这两束光从玻璃射向真空时,其临界角 $C_1>C_2$,选项 B 正确;光 1 的频率 f_1 小于光 2 的频率 f_2,则这两束光都能使某种金属发生光电效应,则根据 $Ue=\frac{1}{2}mv_m^2=hf-W_{逸出功}$ 可知,遏止电压 $U_1<U_2$,选项 C 错误;这两束光由氢原子从不同激发态跃迁到 $n=2$ 能级时产生,可知光 1 所处的激发态的能级较低,相应激发态的电离能较大,即 $\Delta E_1>\Delta E_2$,选项 D 正确。

3.(2017 北京理综,14,6 分) 如图所示,一束可见光穿过平行玻璃砖后,变为 a、b 两束单色光。如果光束 b 是蓝光,则光束 a 可能是　(　　)



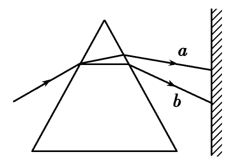
A.红光　　B.黄光　　C.绿光　　D.紫光

答案　D　本题考查光的折射、色散。由题图可知,可见光穿过玻璃砖后,发生了色散,其中 a 光的侧移距离大于 b 光的侧移距离,说明玻璃对 a 光的折射率大于对 b 光的折射率,同种介质对红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的折射率依次增大,由于 b 光是蓝光,故只有 D 选项符合题意。

知识归纳　色光中相关物理量的变化

物理量＼色光	红橙黄绿青蓝紫
频率 ν、对应同一介质的折射率 n、光子能量 $h\nu$	小——变大——→大
波长 λ 和同一介质中的光速 v、临界角 C	大——变小——→小

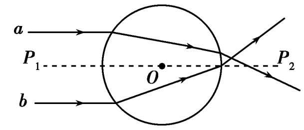
4.(2015 福建理综,13,6 分) 如图,一束光经玻璃三棱镜折射后分为两束单色光 a、b,波长分别为 λ_a、λ_b,该玻璃对单色光 a、b 的折射率分别为 n_a、n_b,则　(　　)



A.$\lambda_a<\lambda_b$,$n_a>n_b$　　B.$\lambda_a>\lambda_b$,$n_a<n_b$
C.$\lambda_a<\lambda_b$,$n_a<n_b$　　D.$\lambda_a>\lambda_b$,$n_a>n_b$

答案　B　由图可知 b 光偏折程度大,则 $n_a<n_b$,波长越短,折射率越大,所以 $\lambda_a>\lambda_b$,B 项正确。

5.(2015 四川理综,3,6 分) 直线 P_1P_2 过均匀玻璃球球心 O,细光束 a、b 平行且关于 P_1P_2 对称,由空气射入玻璃球的光路如图。a、b 光相比　(　　)



A.玻璃对 a 光的折射率较大
B.玻璃对 a 光的临界角较小
C.b 光在玻璃中的传播速度较小
D.b 光在玻璃中的传播时间较短

答案　C　从光路图可以看出,a、b 两束光的入射角相等,b 光的折射角更大一些,由此可知 $n_b>n_a$,A 错误;由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 可知,玻璃对 a 光的临界角较大,B 错误;由 $n=\frac{c}{v}$ 可知,b 光在玻璃中的传播速度较小,C 正确;b 光在玻璃中的传播速度较小,且它在玻璃中传播的距离较长,所以在玻璃中的传播时间较长,D 错误。

6.(2018 北京理综,15,6 分) 用双缝干涉实验装置得到白光的干涉条纹,在光源与单缝之间加上红色滤光片后　(　　)

A.干涉条纹消失
B.彩色条纹中的红色条纹消失
C.中央条纹变成暗条纹
D.中央条纹变成红色

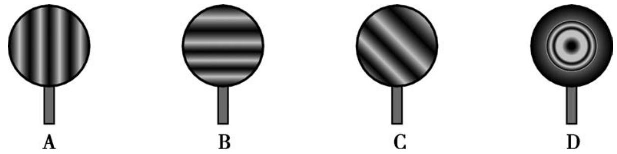
答案　D　本题考查双缝干涉实验。

用白光做双缝干涉实验时,屏上呈现彩色条纹,在光源与单缝间加红色滤光片,光源发出的白光照射滤光片后,仅有红光透过滤光片,故射到双缝上的光为红光,屏上呈现出的是红色干涉条纹,中央条纹为红色,选项 D 正确。

易错点拨　双缝干涉实验中滤光片的作用

不要把红色滤光片误认为是"滤掉"红光的滤光片。

7.(2017 上海单科,4,3 分) 用单色光照射位于竖直平面内的肥皂液薄膜,所观察到的干涉条纹为　(　　)



答案 B 本题考查薄膜干涉。由于在光的干涉中亮、暗条纹的位置取决于两列光波相遇时通过的路程之差,则在薄膜干涉中取决于入射点处薄膜的厚度。因肥皂液薄膜在重力作用下形成了一个上薄下厚的楔形膜,厚度相等的位置在同一条水平线上,故同一条干涉条纹必然是水平的,由此可知只有选项 B 正确。

解题指导 干涉条纹位置与形状的判定

同一条干涉条纹上各点的位置决定了干涉条纹的形状。在双缝干涉及薄膜干涉中,某点处于哪一级亮条纹或暗条纹上,取决于两光波相遇时通过的路程差。两波源相位相同的情况下,当 $\Delta r=n\lambda$ 时处于亮条纹上,当 $\Delta r=(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}$ 时处于暗条纹上。

8.[2018 江苏单科,12B(1)](多选)梳子在梳头后带上电荷,摇动这把梳子在空中产生电磁波。该电磁波 ( )

A.是横波

B.不能在真空中传播

C.只能沿着梳子摇动的方向传播

D.在空气中的传播速度约为 3×10^{8} m/s

答案 AD 电磁波为横波,电磁波的传播不需要介质,可以向周围各个方向传播,真空中传播速度最大,$c=3.0\times10^{8}$ m/s,在空气中的传播速度与真空中的传播速度近似相等,故选 A、D。

9.(2016 天津理综,1,6 分)我国成功研发的反隐身先进米波雷达堪称隐身飞机的克星,它标志着我国雷达研究又创新的里程碑。米波雷达发射无线电波的波长在 1~10 m 范围内,则对该无线电波的判断正确的是 ( )



A.米波的频率比厘米波频率高

B.和机械波一样须靠介质传播

C.同光波一样会发生反射现象

D.不可能产生干涉和衍射现象

答案 C 无线电波与光波均为电磁波,均能发生反射、干涉、衍射现象,故 C 正确、D 错。电磁波在真空中传播速度最快,故 B 错。由 $c=\lambda f$ 可知,频率与波长成反比,故 A 错。

知识归纳 所有波共有的特性:能发生反射、折射、干涉、衍射和多普勒效应。

评析 本题考查电磁波的基础知识,涉及的知识点虽多,但均为考生熟悉的知识点,故为容易题。

10.(2016 天津理综,6,6 分)(多选)物理学家通过对实验的深入观察和研究,获得正确的科学认知,推动物理学的发展。下列说法符合事实的是 ( )

A.赫兹通过一系列实验,证实了麦克斯韦关于光的电磁理论

B.查德威克用 α 粒子轰击 $^{14}_{7}N$ 获得反冲核 $^{17}_{8}O$,发现了中子

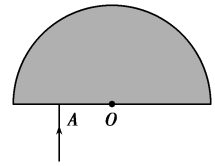
C.贝克勒尔发现的天然放射性现象,说明原子核有复杂结构

D.卢瑟福通过对阴极射线的研究,提出了原子核式结构模型

答案 AC 1886 年,德国科学家赫兹做了《赫兹的电火花》等一系列实验,证实了麦克斯韦关于光的电磁理论,A 项正确;查德威克用 α 粒子轰击 $^{9}_{4}Be$ 获得反冲核 $^{12}_{6}C$,发现了中子,B 项错误;贝克勒尔发现天然放射性现象,原子序数大于或等于 83 的原子核在自然界中自发地发生衰变,说明原子核有复杂结构,C 项正确;卢瑟福通过 α 粒子散射现象,提出了原子核式结构模型,D 项错。

评析 本题考查了物理学发展史,提到了赫兹、麦克斯韦、查德威克、贝克勒尔、卢瑟福这些伟大科学家的贡献,所以平时多看看物理学史非常必要。

11.[2016 浙江自选,13(1),4 分]如图所示的半圆形玻璃砖,圆心为 O,半径为 R,折射率为 $\sqrt{3}$。光由空气从 A 点垂直射入玻璃砖,$OA=\dfrac{R}{2}$。则 ( )



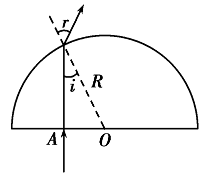
A.该玻璃的临界角为 45°

B.光在玻璃砖中的传播速度为 $v=\dfrac{\sqrt{3}}{2}c$

C.光第一次射出玻璃砖的折射角为 60°

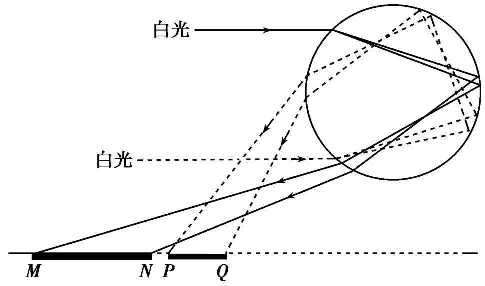
D.玻璃的临界角随入射光线位置变化而变化

答案 C 由 $\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$ 知该玻璃的临界角 $C\neq45°$,A 错误。光在玻璃砖中的传播速度为 $v=\dfrac{c}{n}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}c$,B 错误。如图,$\sin i=\dfrac{OA}{R}=\dfrac{1}{2}$,由折射定律有 $\sin r=n\sin i=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$,故 $r=60°$,C 正确。由 $\sin C=\dfrac{1}{n}$ 知临界角只取决于玻璃的折射率,而与光线的入射位置无关,D 错误。



评析 本题以半圆形玻璃砖为载体考查了光的折射、全反射及光在介质中的传播速度,几何条件给定较为隐蔽,较好地考查了作图能力,难度中等偏易。

12.[2015 重庆理综,11(1),6 分]虹和霓是太阳光在水珠内分别经过一次和两次反射后出射形成的,可用白光照射玻璃球来说明。两束平行白光照射到透明玻璃球后,在水平的白色桌面上会形成 MN 和 PQ 两条彩色光带,光路如图所示。M、N、P、Q 点的颜色分别为 ( )



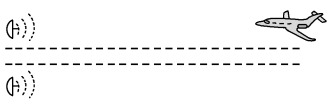
A.紫、红、红、紫 B.红、紫、红、紫

C.红、紫、紫、红 D.紫、红、紫、红

答案　A　由题图可知,射到 M 点的光线进入玻璃球时的折射角小于射到 N 点的光线进入玻璃球时的折射角,所以玻璃对射到 M 点的光的折射率大于玻璃对射到 N 点的光的折射率,故 M 点的颜色为紫色,N 点的颜色为红色;同理可得 P 点的颜色为红色,Q 点的颜色为紫色,所以只有 A 项正确。

13.(2017 北京理综,20,6 分)物理学原理在现代科技中有许多重要应用。例如,利用波的干涉,可将无线电波的干涉信号用于飞机降落的导航。

如图所示,两个可发射无线电波的天线对称地固定于飞机跑道两侧,它们类似于杨氏干涉实验中的双缝。两天线同时都发出波长为 λ_1 和 λ_2 的无线电波。飞机降落过程中,当接收到 λ_1 和 λ_2 的信号都保持最强时,表明飞机已对准跑道。下列说法正确的是　(　　)



A.天线发出的两种无线电波必须一样强

B.导航利用了 λ_1 与 λ_2 两种无线电波之间的干涉

C.两种无线电波在空间的强弱分布稳定

D.两种无线电波各自在空间的强弱分布完全重合

答案　C　本题考查波的干涉。波的干涉产生与否与波的强弱无关,故 A 错;导航利用了同频率的两列波的干涉,而波长为 λ_1 和 λ_2 的两列波频率不同,B 错;λ_1 与 λ_1 干涉,λ_2 与 λ_2 干涉,两个干涉图样在空间的强弱分布稳定,故 C 正确;由于 λ_1 与 λ_2 两列波的波长不同,故两干涉图样在空间强弱分布不重合,D 错。

疑难突破　波的干涉及干涉图样

两列波产生稳定干涉图样的条件之一是两列波的频率相同,本题中,每个天线同时且都发出两列波长为 λ_1 和 λ_2 的波,在同种介质中波长相同,频率相同,产生干涉,故在飞机跑道区域存在两个稳定的干涉图样,且跑道中心线上每点到波源的距离相等,故中心线上各点均为两个干涉图样的加强点,飞机降落时利用这些加强点来对准跑道中心线,实现安全降落。

14.[2014 课标Ⅱ,34(2),10 分]一厚度为 h 的大平板玻璃水平放置,其下表面贴有一半径为 r 的圆形发光面。在玻璃板上表面放置一半径为 R 的圆纸片,圆纸片与圆形发光面的中心在同一竖直线上。已知圆纸片恰好能完全遮挡住从圆形发光面发出的光线(不考虑反射),求平板玻璃的折射率。

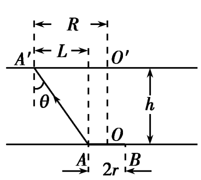
答案　见解析

解析　如图,考虑从圆形发光面边缘的 A 点发出的一条光线,假设它斜射到玻璃上表面的 A'点折射,根据折射定律有

$$n\sin\theta=\sin\alpha \qquad ①$$

式中,n 是玻璃的折射率,θ 是入射角,α 是折射角。

现假设 A'恰好在纸片边缘。由题意,在 A'点刚好发生全反射,故



$$\alpha=\frac{\pi}{2} \qquad ②$$

设 AA'线段在玻璃上表面的投影长为 L,由几何关系有

$$\sin\theta=\frac{L}{\sqrt{L^2+h^2}} \qquad ③$$

由题意,纸片的半径应为

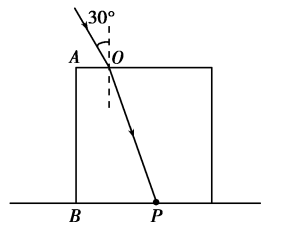
$$R=L+r \qquad ④$$

联立以上各式得

$$n=\sqrt{1+\left(\frac{h}{R-r}\right)^2} \qquad ⑤$$

审题指导　依据题述“恰好能完全遮挡住从圆形发光面发出的光线”可知射到玻璃上表面的光线恰好在圆纸片的边缘处发生全反射,进而作出示意图,找到几何关系从而完成求解。

15.[2015 江苏单科,12B(3)]人造树脂是常用的眼镜镜片材料。如图所示,光线射在一人造树脂立方体上,经折射后,射在桌面上的 P 点。已知光线的入射角为 30°,$OA=5$ cm,$AB=20$ cm,$BP=12$ cm,求该人造树脂材料的折射率 n。



答案　$\frac{\sqrt{449}}{14}$(或 1.5)

解析　设折射角为 γ,由折射定律有 $\sin 30°=n\sin\gamma$

由几何关系知 $\sin\gamma=\frac{PB-OA}{OP}$,且 $OP=\sqrt{(PB-OA)^2+AB^2}$

代入数据解得 $n=\frac{\sqrt{449}}{14}$(或 $n\approx1.5$)

16.[2018 北京理综,24(2)]观测宇宙中辐射电磁波的天体,距离越远单位面积接收的电磁波功率越小,观测越困难。为了收集足够强的来自天体的电磁波,增大望远镜口径是提高天文观测能力的一条重要途径。2016 年 9 月 25 日,世界上最大的单口径球面射电望远镜 FAST 在我国贵州落成启用,被誉为“中国天眼”。FAST 直径为 500 m,有效提高了人类观测宇宙的精度和范围。

a.设直径为 100 m 的望远镜能够接收到的来自某天体的电磁波功率为 P_1,计算 FAST 能够接收到的来自该天体的电磁波功率 P_2;

b.在宇宙大尺度上,天体的空间分布是均匀的。仅以辐射功率为 P 的同类天体为观测对象,设直径为 100 m 望远镜能够观测到的此类天体数目是 N_0,计算 FAST 能够观测到的此类天体数目 N。

答案　a.$25P_1$　b.$125N_0$

解析　a.地球上不同望远镜观测同一天体,单位面积上接收的功率应该相同,因此

$$P_2=\frac{500^2}{100^2}P_1=25P_1$$

b.在宇宙大尺度上,天体的空间分布是均匀的。因此,一个望远镜能观测到的此类天体数目正比于以望远镜为球心、以最远观测距离为半径的球体体积。

设地面上望远镜能观测到此类天体需收集到的电磁波的总功率的最小值为 P_0,直径为 100 m 望远镜和 FAST 能观测到的最远距离分别为 L_0和 L,则

$$P_0=\pi\left(\frac{500}{2}\right)^2\frac{P}{4\pi L^2}=\pi\left(\frac{100}{2}\right)^2\frac{P}{4\pi L_0^2}$$

可得 $L=5L_0$

则 $N=\frac{L^3}{L_0^3}N_0=125N_0$

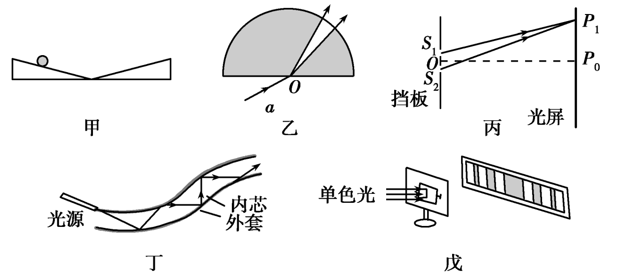
2018-2020 3年模拟

对应学生用书起始页码 295

时间:40分钟 分值:60分

一、选择题(每小题6分,共30分)

1.(2018河北石家庄二模)(多选)下列说法中正确的是 ( )



A.如图甲所示,小球在倾角很小的光滑斜面上来回运动,小球做简谐运动

B.如图乙所示,a是一束白光,射向半圆玻璃砖的圆心O,经折射后发生色散,最左侧为紫光,最右侧为红光

C.如图丙所示为双缝干涉示意图,双缝间距d越大,相邻亮条纹的中心间距越大

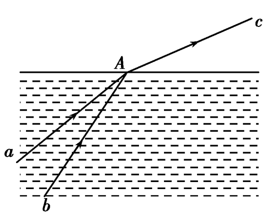
D.如图丁所示为光导纤维示意图,内芯的折射率比外套的折射率大

E.如图戊所示为单色光单缝衍射示意图,如果换成白光,屏上得到的条纹是彩色的

答案 BDE 小球在两个斜面上来回滚动时,小球受到的力与位移不成正比,不属于简谐运动,故A错误;a是一束白光,射向半圆玻璃砖的圆心O,经折射后发生色散,因为紫光的折射率大于红光,因此最左侧为紫光,最右侧为红光,所以B正确;根据双缝干涉相邻两亮条纹的中心间距公式$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$,双缝间距$d$越大,相邻亮条纹间距越小,故C错误;根据光的全反射条件可以知道,内芯的折射率比外套的折射率大,所以D正确;如果换成白光,因白光是各种色光组合而成的,波长不同,导致屏上得到的条纹间距不同,因此是彩色的,故E正确。

解题关键 做简谐运动的物体的回复力与物体的位移成正比,方向总是指向平衡位置;紫光的折射率大于红光;学会运用双缝干涉相邻两亮条纹的中心间距公式$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$;明确全反射条件(光从光密介质进入光疏介质,且入射角不小于临界角);白光的衍射条纹是彩色的。

2.(2019宁夏大学附属中学一模,15)(多选)如图所示,两束单色光a、b从水下面射向A点,光线经折射后合成一束光c,则下列说法正确的是 ( )



A.用同一双缝干涉实验装置分别以a、b光做实验,a光的干涉条纹间距大于b光的干涉条纹间距

B.a光在水中的传播速度比b光的快

C.用a、b光分别做双缝干涉时它们的干涉条纹宽度都是不均匀的

D.在水中a光的临界角大于b光的临界角

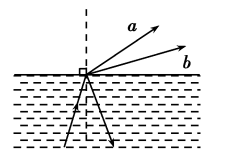
E.若a光与b光以相同入射角从水射向空气,在不断增大入射角时水面上首先消失的是a光

答案 ABD 由图可知,单色光a偏折程度小于b的偏折程度,根据折射定律$n=\frac{\sin r}{\sin i}$知,水对a光的折射率小于水对b光的折射率,则知a光的波长大,根据双缝干涉条纹的间距公式$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$可得,$a$光的干涉条纹间距大于$b$光的干涉条纹间距,故A正确;由$v=\frac{c}{n}$,可知$a$光折射率小,则传播速度快,故B正确;两光的干涉条纹宽度都是均匀的,选项C错误;由全反射临界角公式$\sin C=\frac{1}{n}$,知折射率n越大,临界角C越小,则知在水中a光的临界角大于b光的临界角,故D正确;若a光与b光以相同入射角从水射向空气,由于在水中a光的临界角大于b光的临界角,所以b光的入射角先达到临界角,则b光先发生全反射,首先消失的是b光,故E错误。故选A、B、D。

考查点 光的折射、全反射

温馨提示 解决本题的关键是通过光路图比较出折射率,从而得知频率、波长等关系,知道偏折程度越大,折射率越大,在介质中的速度越小,频率越大,波长越小。

3.[2019四川南充二模,34(1)](多选)由a、b两种单色光构成复色光束从水中斜射入空气中的光路图如图所示,关于a、b两种单色光,下列说法正确的是 ( )



A.a光的频率小于b光的频率

B.从同种介质中斜射入空气发生全反射时,a光的临界角小于b光的临界角

C.在同种介质中传播,a光传播速度大于b光的传播速度

D.相同条件的双缝干涉实验中,a光的相邻两明条纹间距比b光的相邻两明条纹间距小

E.通过同一狭缝,a光的衍射现象比b光的衍射现象更明显

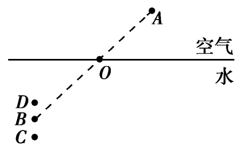
答案 ACE 由图可知,b光的折射角大于a光的折射角,b光的偏折程度大,根据折射定律可知,水对a光的折射率小于对b光的折射率,因此,a光的频率小于b光的频率,故A正确。a光的折射率小于b光的折射率,根据临界角公式$\sin C=\frac{1}{n}$可知,a光的临界角大于b光的临界角,故B错误。a光的折射率小于b光的折射率,根据$v=\frac{c}{n}$可知在同种介质中传播,a光传播速度大于b光的传播速度,故C正确。a光的频率小于b光的频率,则a光的波长大于b光的波长。由于在相同的条件下,双缝干涉条纹间距与波长成正比,所以相同条件的双缝干涉实验中,a光的相邻两明条纹间距比b光的相邻两明条纹间距大,故D错误。a光的波长大于b光的波长,a光的波动性强,通过同一狭缝,a光的衍射现象比b光的衍射现象更明显,故E正确。

思路点拨 根据折射定律分析水对a光和b光折射率的大小关系,即可确定频率和波长的大小关系。根据临界角公式$\sin C=\frac{1}{n}$分析临界角大小关系。由$v=\frac{c}{n}$分析光在同种介质

中传播速度的大小关系。根据双缝干涉条纹间距与波长成正比分析干涉条纹间距的关系。根据波长关系分析衍射现象明显程度。

解题关键　本题是几何光学与物理光学的综合。关键要掌握折射率与光的波长、频率、临界角、光速等量的关系，可结合光的色散、干涉等实验加强记忆。

4.［**2020 届贵州六校联考，34（2）**］（多选）如图所示，实线为空气和水的分界面，一束蓝光从空气中的 A 点沿 AO_1 方向（O_1 点在分界面上，图中 O_1 点和入射光线都未画出）射向水中，折射后通过水中的 B 点。图中 O 点为 A、B 连线与分界面的交点。下列说法正确的是　（　　）



A.O_1 点在 O 点的右侧

B.蓝光从空气中射入水中时，速度变小

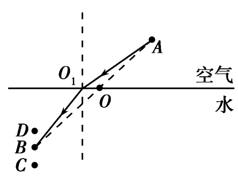
C.若沿 AO_1 方向射向水中的是一束紫光，则折射光线有可能通过 B 点正下方的 C 点

D.若沿 AO_1 方向射向水中的是一束红光，则折射光线有可能通过 B 点正上方的 D 点

E.若蓝光沿 AO 方向射向水中，则折射光线有可能通过 B 点正上方的 D 点

答案　BCD　本题考查光的折射定律、折射率，体现了科学思维中的科学论证要素。

据折射定律知，光由空气斜射入水中时入射角大于折射角，则画出光路图如图所示，知 O_1 点应在 O 点的左侧，故 A 错；光从光疏介质（空气）进入光密介质（水）中时，速度变小，故 B 对；紫光的折射率大于蓝光，所以折射角要小于蓝光，则可能通过 B 点正下方的 C 点，故 C 对；若是红光，折射率小于蓝光，折射角大于蓝光，则可能通过 B 点正上方的 D 点，故 D 对；若蓝光沿 AO 方向射入，根据折射定律知，折射光线不可能过 B 点正上方的 D 点，故 E 错。



5.［**2020 届江西盟校联考，34（1）**］（多选）如图所示是 a、b 两光分别经过同一双缝干涉装置后在屏上形成的干涉图样，则　（　　）



a光的干涉图样　　b光的干涉图样

A.在同种均匀介质中，a 光的传播速度比 b 光的大

B.在真空中 a、b 两光传播速度相同

C.从真空射入同种介质发生全反射时，a 光全反射临界角小

D.从同种介质射入真空发生全反射时，a 光全反射临界角小

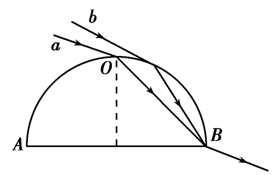
E.在相同的条件下，b 光比 a 光更容易产生明显的衍射现象

答案　BDE　本题考查了光的双缝干涉、折射率和光的全反射，体现了科学思维中的科学论证要素。

根据题图可知，b 光的干涉条纹间距大于 a 光的干涉条纹间距，由双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 可知，b 光的波长比 a 光的大，由 $\lambda=\frac{c}{f}$ 可知，b 光的频率比 a 光的小，则在同种介质中，b 光的折射率小于 a 光，根据 $n=\frac{c}{v}$ 可知，在介质中，a 光的传播速度比 b 光的小，选项 A 错误。在真空中 a、b 两光传播速度相同，均为光速，选项 B 正确。从真空射入同种介质不会发生全反射，选项 C 错误。由介质射入真空发生全反射的临界角公式 $\sin C=\frac{1}{n}$ 可知，a 光折射率较大，从同种介质射入真空发生全反射时 a 光全反射临界角小，选项 D 正确。由于 b 光的波长比 a 光的大，根据发生明显衍射现象的条件可知，在相同的条件下，b 光比 a 光更容易产生明显的衍射现象，选项 E 正确。

二、非选择题（共 30 分）

6.（10 分）［**2018 河北保定联考，34（2）**］两束不同的单色光 a、b 分别斜射到半圆形玻璃砖的圆弧面上，a 光束从圆弧面顶端入射，AB 是半圆的直径，长度为 d，折射光线均照射到半圆直径的 B 端，出射光线方向相同，光线如图所示，a、b 两束单色光在玻璃砖中传播的时间分别为 t_1、t_2。

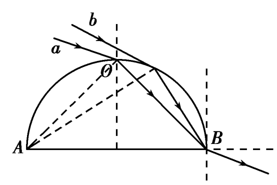


①试证明 a 在 O 点的入射光线与 a 在 B 点的出射光线平行；

②试比较 t_1、t_2 的大小关系。

答案　见解析

解析　①由几何关系可知，a 在 O 点折射时的法线，与 a 在 B 点折射时的法线平行，因此 a 在 O 点的折射角与 a 在 B 点的入射角相等，根据光路可逆知，a 在 O 点的入射角等于 a 在 B 点的折射角，由几何关系可知，a 在 O 点的入射光线与 a 在 B 点的出射光线平行。



②设光在 AB 面上折射时的入射角为 i，折射角为 r，则 $n=\frac{\sin r}{\sin i}$

半圆的直径为 d，则光在玻璃砖中的传播距离为 $l=d\sin i$

光在玻璃砖中传播的速度为 $v=\frac{c}{n}$

因此光在玻璃砖中传播的时间

$$t=\frac{l}{v}=\frac{d\sin i}{c}\cdot n=\frac{d\sin i}{c}\cdot\frac{\sin r}{\sin i}=\frac{d\sin r}{c}$$

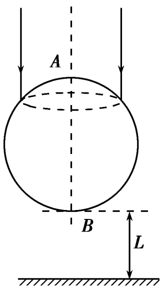
由此可以判断，两束单色光在玻璃砖中传播的时间相同，即 $t_1=t_2$。

7.（10 分）（**2019 湖南永州二模，20**）如图所示为一个透明球体的横截面，其半径为 R，AB 是一竖直直径，现有一束半径为 $\frac{\sqrt{3}}{2}R$ 的圆环形平行细光沿 AB 方向射向球体（AB 直径为圆环中心轴线），所有光线经折射后恰好经过 B 点而在水平光屏上形成一圆亮环，水平光屏到 B 点的距离为 $L=R$，光在真空中的传播

速度为 c,求:

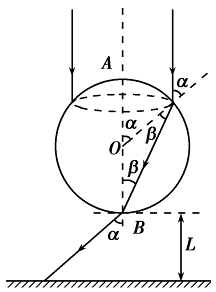
(ⅰ)透明球体的折射率;

(ⅱ)光从入射点传播到光屏所用时间。



答案 (ⅰ)$\sqrt{3}$ (ⅱ)$\frac{5R}{c}$

解析 (ⅰ)光路图如图所示,由几何关系可知,$R\sin\alpha=\frac{\sqrt{3}}{2}R$,即 $\alpha=60°$



由图可知,$\alpha=2\beta$,得 $\beta=30°$

由折射定律有 $n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\sqrt{3}$

(ⅱ)光在透明球体中的速度为 $v=\frac{c}{n}$

光在透明球体中的传播时间 $t_1=\frac{2R\cos\beta}{v}=\frac{3R}{c}$

由折射定律知光线从 B 点出射后与竖直方向的夹角为 $\alpha=60°$

所以光从透明球体出射后到光屏所用的时间 $t_2=\frac{2L}{c}=\frac{2R}{c}$

则光从入射点传播到光屏所用的时间为 $t=t_1+t_2=\frac{5R}{c}$

思路分析 解决几何光学问题的关键是画出光路图,结合折射定律和几何关系进行求解。

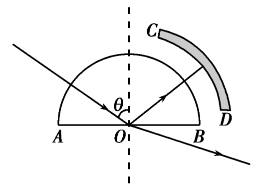
(ⅰ)作出光路图,由几何关系求出入射角和折射角,根据折射定律求解折射率;

(ⅱ)由 $v=\frac{c}{n}$ 求出光在透明球体中的速度,结合几何关系求出光在透明球体中运行的位移,从而求出运动的时间。

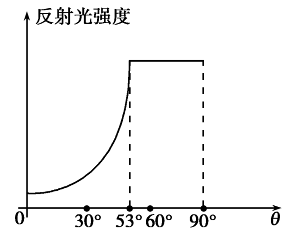
8.(10分)(2019安徽江南十校联考)为了研究某种透明新材料的光学性质,将其压制成半圆柱体,其截面如图(a)所示。一束激光由真空沿半圆柱体的径向与其底面过 O 点的法线成 θ 角射入,CD 为光学传感器,可以探测光的强度。从 AB 面反射回来的光强随角 θ 变化的情况如图(b)所示。现在将这种新材料制成的一根光导纤维束弯成半圆形,暴露于空气中(假设空气中的折射率与真空相同),设半圆形外半径为 R,光导纤维束的半径为 r。求:

(ⅰ)这种新材料的折射率;

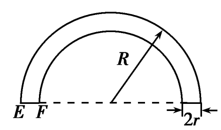
(ⅱ)用同种激光垂直于光导纤维束端面 EF 射入,若该束激光不从光导纤维束侧面外泄,则弯成的半圆形半径 R 与纤维束半径 r 应满足的关系。



图(a)



图(b)



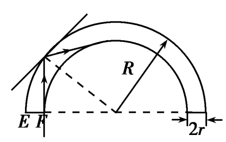
图(c)

答案 见解析

解析 (ⅰ)由图(b)可知,当 $\theta=53°$ 时发生全反射

$n=\frac{1}{\sin C}=\frac{1}{\sin 53°}=1.25$

(ⅱ)如图所示,临界条件为入射光在光导纤维外侧面发生全反射,则



$\sin C=\frac{R-2r}{R}$

解得 $R=10r$